

Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie

Herausgegeben
von der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

unter der Redaktion von

Dr. W. Eitel

Professor an der Technischen Hochschule
Berlin-Charlottenburg

Siebenzehnter Band

Zweiter Teil

Mit 37 Abbildungen im Text *

Berlin W 35

Selbstverlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft e. V.

Buchhändlerischer Vertrieb durch die Verlagsbuchhandlung Gustav Fischer in Jena

1933

Auszug aus der Satzung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft (E.V.)

Die Deutsche Mineralogische Gesellschaft sucht die Mineralogie, Kristallographie und Petrographie in Forschung und Lehre zu fördern, besonders auch die wissenschaftlichen Beziehungen ihrer Mitglieder zu pflegen. Alljährlich veranstaltet sie eine Versammlung mit Vorträgen, Berichten und Exkursionen; ferner gibt sie als eigenes Organ die Zeitschrift „Fortschritte der Mineralogie usw.“ heraus. Die älteren Bände stehen den Mitgliedern zu Vorzugspreisen zur Verfügung. Diese umfangreiche Veröffentlichung bringt hauptsächlich Darstellungen der Fortschritte, die auf verschiedenen Teilgebieten in der letzten Zeit gemacht worden sind, und wird den Mitgliedern unentgeltlich übersandt. Der Jahresbeitrag beträgt gegenwärtig 10 RM.

Der Vorstand besteht zur Zeit aus folgenden Herren:

Vorsitzender: Prof. Dr. W. Eitel, Berlin-Dahlem, Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung, Faradayweg 16

I. Stellvertreter: Prof. Dr. O. Weigel, Marburg a. L., Miner.-Petrogr. Inst. der Universität

II. Stellvertreter: Prof. Dr. H. Rose, Hamburg 36, Miner.-Petrogr. Inst. der Universität, Esplanade 1 c

Schriftführer: Prof. Dr. H. von Philipsborn, Freiberg i. Sa., Miner. Inst. der Bergakademie

Schatzmeister: Dr. R. Thost, Berlin W 35, Schöneberger Ufer 12 a.

Zahlungen sind zu richten an den Schatzmeister, oder

an die Deutsche Mineralogische Gesellschaft, Berlin W 35,
Postcheckkonto Berlin NW 7, Nr. 112678, oder
Bankkonto Nr. 10666 bei der Dresdner Bank, Depositenkasse 52,
Berlin W 9, Potsdamer Str. 20.

Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie u. Petrographie

Herausgegeben im Auftrag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft
von

Prof. Dr. G. Linck, Jena (Bd. 1—6)

Prof. Dr. A. Johnsen, Berlin (Bd. 7—10), Prof. Dr. W. Eitel,
Berlin (ab Bd. 10)

						RMk.
Band 1.	Mit 53 Abbild. im Text.	IV, 290 S.	gr. 8°	1911		9.—
Band 2.	Mit 23 Abbild. im Text.	IV, 304 S.	gr. 8°	1912		10.50
Band 3.	Mit 26 Abbild. im Text.	IV, 320 S.	gr. 8°	1913		10.—
Band 4.	Mit 23 Abbild. im Text.	IV, 334 S.	gr. 8°	1914		12.50
Band 5.	Mit 43 Abbild. im Text.	III, 324 S.	gr. 8°	1916		11.50
Band 6.	Mit 46 Abbild. im Text.	IV, 245 S.	gr. 8°	1920		8.—
Band 7.	Mit 23 Abbild. im Text.	XI, 480 S.	gr. 8°	1922		12.50
Band 8.	Mit 33 Abbild. im Text.	III, 234 S.	gr. 8°	1923		8.—
Band 9.	Mit 17 Abbild. im Text.	III, 411 S.	gr. 8°	1924		14.—
Band 10.	Mit 69 Abbild. im Text.	III, 310 S.	gr. 8°	1925		14.—
Band 11.	Mit 72 Abbild. im Text u. auf 1 Tafel.	III, 358 S.	gr. 8°	1927		17.—
Band 12.	Mit 66 Abbild. i. Text u. 1 Porträttafel (G. Linck).	IV, 336 S.	gr. 8°	1927		20.—
Band 13.	Mit 103 Abbild. im Text.	IV, 320 S.	gr. 8°	1929		20.—
Band 14.	Teil 1.	IV, 74 S.	gr. 8°	1929		5.—
Band 14.	Teil 2.	Mit 37 Abbild. u. 6 Tabellen.	IV, 217 S.	gr. 8°	1930	15.—
Band 15.	Teil 1.	Mit 1 Abbild. im Text.	III, 72 S.	gr. 8°	1931	5.—
Band 15.	Teil 2.	Mit 7 Abbild. im Text.	IV, 140 S.	gr. 8°	1931	10.—
Band 16.	Teil 1.	Mit 29 Abbild. im Text.	IV, 146 S.	gr. 8°	1931	10.—
Band 16.	Teil 2.	Mit 25 Abbild. im Text.	IV, 65 S.	gr. 8°	1932	5.—
Band 17.	Teil 1.	Mit 5 Abbild. im Text.	IV, 74 S.	gr. 8°	1932	5.—

Mitglieder der D. M. G. erhalten die Bände zu Vorzugspreisen.

1. Allgemeine Mineralogie und Kristallographie

Mineralogie und Phasenlehre

Von

Ernst Jänecke

Mit 34 Abbildungen im Text

A. Einleitung

In neuerer Zeit hat die Bestimmung von Konstitution und Kristallbau mineralogischer Körper gewaltige Fortschritte gemacht. Unsere erweiterte Kenntnis über Bau der Atome und Kristallgitter hat dazu geführt, daß von vielen Mineralien der Kristallbau bekannt ist, und sogar angegeben werden kann, warum sich die Kristalle gerade in der angegebenen Art aufbauen. Besonders die Kristallchemie der Silikate ist weitgehend bekannt. Hierbei sind besonders die Arbeiten von BRAGG und GOLDSCHMIDT zu nennen.

In der Natur finden sich aber die verschiedenen Mineralien miteinander gemischt. Aus diesem Grunde ist es nötig, nicht nur die Mineralien selbst, sondern auch ihre Gemische zu untersuchen. Wenn die Existenz mancher Verbindungen aus den Gesetzen, die ihren Aufbau beherrschen, und aus Analogie mit anderen auch vorausgesagt werden kann, so kann doch nur systematische phasentheoretische Untersuchung ein vollständiges Bild der verschiedenen Stoffsysteme geben. In dieser Hinsicht sind besonders im Carnegieinstitut in Washington, aber auch anderswo, bereits viele wertvolle Untersuchungen gemacht worden. Im Hinblick aber auf die enorme Mannigfaltigkeit ist ihre Zahl doch noch sehr gering. Schon bei Dreistoffmischungen stehen noch sehr viele Untersuchungen aus, besonders im Gebiet reziproker Salzpaare. In bezug auf Vier- oder gar Mehrstoffmischungen aber sind bis jetzt nur bescheidene Anfänge zu ver-

zeichnen. Bei der Durchführung derartiger Untersuchungen wird man sicherlich noch manche neue Verbindung finden. Diese werden vielfach in der Natur entweder gar nicht, oder selten vorkommen.

Wenn bei diesen Untersuchungen der gasförmige Zustand auch von Bedeutung sein kann, so tritt er doch im ganzen so weit zurück, daß es berechtigt ist, ihn bei den folgenden Betrachtungen außer acht zu lassen.

Nach der Art ihrer Entstehung sind zwei Gruppen zu unterscheiden. Eine, bei der es sich um Bildung aus dem Schmelzfluß, und eine andere, bei der es sich um Bildung aus wässrigen Lösungen handelt. Nach der Anzahl der beteiligten Stoffe zerfallen die Gruppen in Untergruppen mit zwei, drei, vier und mehr Komponenten. An dieser Stelle sollen nur die Systeme ohne Wasser behandelt werden.

B. Zweistoffmischungen (Schmelzen)

Die Zweistoffmischungen sollen nur kurz behandelt werden, da sie weitgehend bekannt sind. Man unterscheidet sie zweckmäßig nach der Zahl der aus dem Schmelzfluß auftretenden Gefügebestandteile.

Typus I. Von den Zweistoffmischungen mit einem Gefügebestandteil gibt es zwei Arten, die sich durch ihre Schmelzerscheinungen unterscheiden. Bei I_a verlaufen die Schmelz- und Erstarrungskurven zwischen den Schmelzpunkten der reinen Bestandteile, ohne daß sich ein Schmelzpunktminimum ausbildet, bei I_b mit einem solchen. Der von ROOZEBOOM früher noch aufgestellte Fall mit einem Schmelzpunktmaximum bei Zweistoffmischungen mit nur einem festen Gefügebestandteil kommt nicht vor. Dieses ist auch theoretisch schon vor Jahren von VAN LAAR nachgewiesen worden. Gleichwohl findet man vielfach noch die Angabe dieses Schmelzpunktmaximum, ohne daß irgendein Beispiel dafür angeführt werden kann.

Das Auftreten einer lückenlosen Reihe von Mischkristallen zwischen zwei Stoffen bedeutet vollkommene Isomorphie zwischen den Komponenten. Eine solche findet sich bei Systemen zweier Salze, die sich nur in bezug auf die positiven, oder nur in bezug auf die negativen Ionen unterscheiden, und wenn diese Ionen einander chemisch ähnlich sind. Außer dieser Art vollkommener Isomorphie ist besonders neuerdings durch röntgenographische Untersuchungen eine andere mehrfach gefunden worden, die darauf beruht, daß bestimmte Baugruppen in dem Kristallgitter durch andere ersetzt werden. Die erste Art Isomorphie findet sich besonders häufig bei Salzen einwertiger Elemente, besonders der Alkalien oder den Halogenen. Die zweite Art findet sich bei Silikaten, indem zwei gleiche oder verschiedene Elemente durch zwei andere von zusammen gleicher Wertigkeit ersetzt werden.

Mit Hilfe thermodynamischer Untersuchungen sind für die Schmelzkurven Formeln aufgestellt worden, welche die Temperatur in Abhängigkeit von der Zusammensetzung wiedergeben. Die Formeln sind verhältnismäßig einfach, sie enthalten die Schmelzwärmen und Schmelztemperaturen, sowie die Mischungswärmen der Komponenten. Auf konkrete Beispiele sind sie aber bei Mineralien bis jetzt kaum angewendet worden.

Als Beispiel für die Bildung einer lückenlosen Reihe von Mischkristallen sollen nur die beiden wichtigen Systeme Albit—Anorthit und Gehlenit—Äkermanit erwähnt werden (Fig. 1 u. 2). Die Bildung der Mischkristalle beruht in beiden Fällen auf dem vorher auseinandergesetzten Verhalten nach der zweiten Art. Im System Albit—Anorthit ist $\text{Na}^+\text{Si}^{++++}$ ersetzt durch $\text{Ca}^{++}\text{Al}^{+++}$ und im System Gehlenit—Äkermanit $\text{Al}^{+++}\text{Al}^{+++}$ ersetzt durch $\text{Mg}^{++}\text{Si}^{++++}$. Auf diese Weise wird $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ Albit

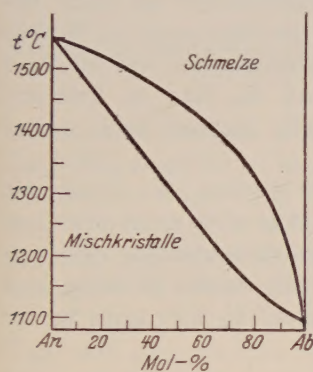


Fig. 1.

Anorthit—Albit. Typus Ia. System isomorpher Stoffe ohne Schmelzpunktminimum.

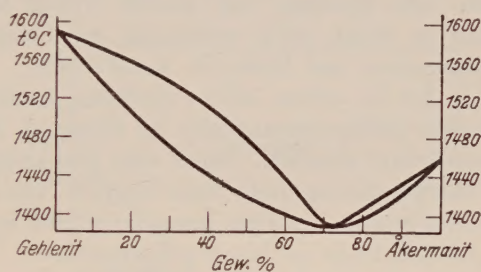


Fig. 2.

Gehlenit—Äkermanit. Typus Ib. System isomorpher Stoffe mit Schmelzpunktminimum.

zu $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ Anorthit und $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ Gehlenit zu $\text{MgO} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ Äkermanit. Im ersten Beispiel ist der Unterschied in den Schmelztemperaturen erheblich, im zweiten gering. Aus diesem Grunde verläuft die Schmelzkurve im ersten Fall ohne Minimum, im zweiten mit einem solchen.

Es gibt zahlreiche Systeme mit einer lückenlosen Reihe von Mischkristallen, wenn es sich um Salze mit gleichen positiven oder negativen Ionen handelt. Sie finden sich oft zwischen Salzen von Li, K, Na, Rb und Cs, wobei auch noch NH_4 und Tl hinzukommen können. Auch Ag bildet in Salzen mit diesen manchmal Systeme mit vollständiger Isomorphie, wie beispielsweise bei NaCl — AgCl . Wie schon erwähnt, bilden auch Halogenide häufig Systeme vollkommener Isomorphie, wobei Fluorsalze manchmal eine Ausnahme machen. Auf diese und ähnliche Systeme soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Typus II. Dieser Typus umfaßt die Systeme, bei denen sich zwei verschiedene Gefügebestandteile aus dem Schmelzfluß ausscheiden können. Es lassen sich wieder zwei Untergruppen unterscheiden. Bei II_a liegt die Temperatur des Gleichgewichtes der beiden festen Gefügebestandteile mit der zugehörigen Schmelze zwischen, bei II_b unterhalb der Schmelztemperaturen der beiden Komponenten. Im ersten Falle bildet sich ein Übergangspunkt im Schmelzdiagramm heraus, im zweiten ein Eutektikum. Die Anzahl der Systeme, die zu II_a gehören, ist verhältnismäßig gering, um so größer die zu II_b gehörenden. Der Typus II_a umfaßt solche Stoffe, die einander chemisch nahe stehen, aber nicht so nahe, daß sie sich vollständig isomorph mischen. Der Umfang der Mischkristallbildung im System II_b ist bei Salzen und Mineralien meist gering, in vielen Fällen kommen nur die reinen Komponenten als feste Bestandteile vor. Diese Systeme stehen damit im Gegensatz zu Metallmischungen, bei denen die Bildung von Mischkristallen viel häufiger ist. Die Systeme von diesem Typus II_a und II_b sind so bekannt, daß es nicht nötig erscheint, an dieser Stelle hierauf noch weiter einzugehen und Beispiele anzuführen.

Als II_c sollen solche Systeme bezeichnet werden, bei denen die beiden Gefügebestandteile im flüssigen Zustande sich nicht oder nur beschränkt mischen. Nach dem Erstarren hat man alsdann zwei sich übereinanderlagernde feste Körper. Die Bildung zweier Flüssigkeiten findet man bei einigen komplizierteren Systemen, die hier nicht weiter berücksichtigt zu werden brauchen.

Typus III. Die binären Systeme, die zur Bildung von drei verschiedenen festen Gefügebestandteilen führen, sollen unter III zusammengefaßt werden. Außer den beiden Komponenten, die unter Umständen in geringem Maße Mischkristalle bilden, tritt als dritte feste Phase eine Verbindung auf. Der Fall, daß diese selbst wieder ein Mischkristall ist, ist bei Salzen und anderen Mineralien selten, er braucht deswegen hier nicht besonders erörtert zu werden. Bei Legierungen tritt es häufiger auf. Nach der Art des Schmelzens lassen sich zwei Typen III_a und III_b unterscheiden. Bei III_a schmilzt die Verbindung der beiden Komponenten zu einer Flüssigkeit gleicher Zusammensetzung. Sie schmilzt „kongruent“. Bei III_b schmilzt sie zu einer Flüssigkeit, welche von der einen Komponente mehr enthält als von der zweiten, indem sich diese fest ausscheidet. Die Verbindung schmilzt „inkongruent“. Bei einigen Systemen beobachtet man noch die Bildung zweier Flüssigkeiten. Diese sollen als III'_a und III'_b bezeichnet werden. Solche Systeme kommen z. B. vor bei Mischungen mit Aluminiumchlorid oder -bromid.

Als Beispiele für die Systeme III_a und III_b sollen die folgenden beiden angeführt werden. Für III_a sei es das System Wollastonit-

Kalziumaluminat (Fig. 3), in dem die sich bildende Verbindung Gehlenit einen kongruenten Schmelzpunkt hat. Als Beispiel eines Systemes mit inkongruent schmelzender Verbindung sei Kalziummonosilikat-Ba-

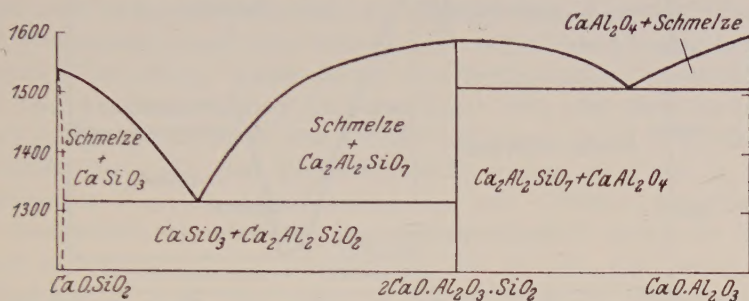


Fig. 3.

Wollastonit—Kalziumaluminat. Typus III_a. Eine kongruent schmelzende Verbindung (Anorthit).

riummonosilikat $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ — $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ angeführt (Fig. 4). Das in der Figur abgebildete System zeigt eine Verbindung mit einem Gehalt von 2CaO auf BaO .

Typus IV. Da die Zahl der untersuchten Systeme mit mehr als drei festen Phasen verhältnismäßig gering ist, sollen alle Systeme dieser Art unter IV zusammengefaßt werden. Finden sich Systeme mit Bildung zweier Flüssigkeiten, so sollen diese als IV' bezeichnet werden. Bei diesen Systemen wiederholt sich die Bildung von kongruenten oder inkongruenten Verbindungen. Als Beispiel sollen die beiden Systeme SiO_2 — MgO Kieselsäure—Magnesia und SiO_2 — CaO Kieselsäure—Kalk erwähnt werden. Sie sind in den beiden Fig. 5 u. 6 dargestellt.

Das erste System enthält vier feste Gefügebestandteile. Die eine der auftretenden Verbindung Forsterit schmilzt kongruent, die

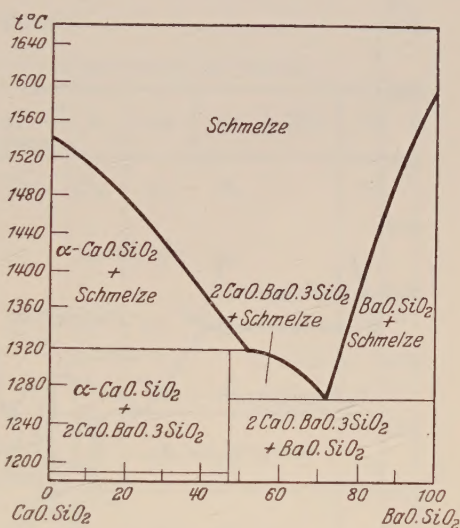


Fig. 4.

Kalziummonosilikat—Bariummonosilikat. Typus III_b. Eine inkongruent schmelzende Verbindung.

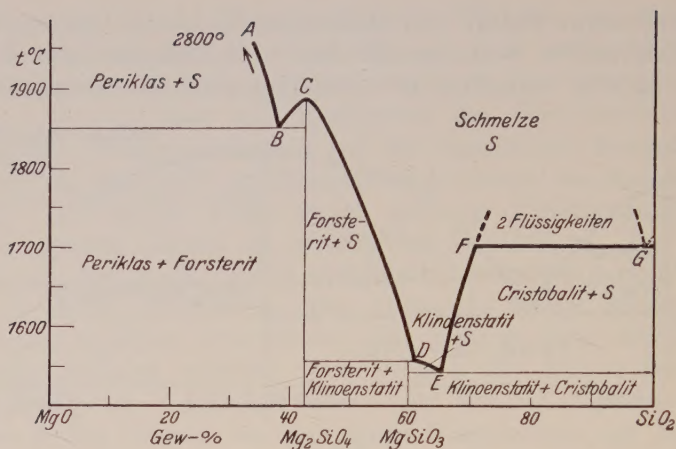


Fig. 5.

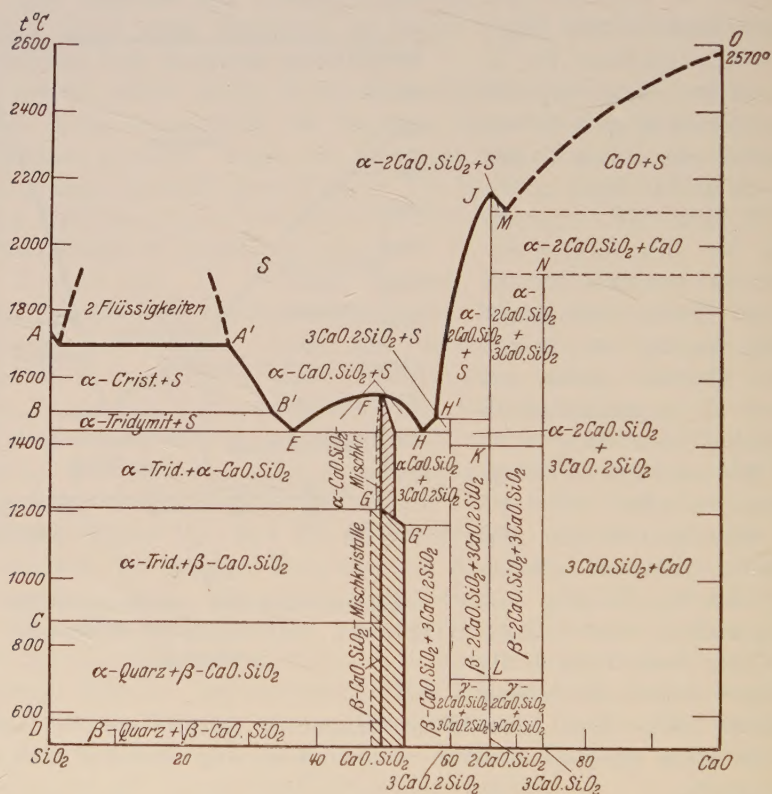
SiO₂—MgO. Typus IV. Mehrere Verbindungen.

Fig. 6.

SiO₂—CaO. Typus IV. Mehrere Verbindungen.

andere Klinoenstatit inkongruent. Außerdem bilden sich an der Kieselsäureseite zwei Flüssigkeiten. Erheblich komplizierter ist das System Kieselsäure—Kalk. Aus dem Schmelzfluß bilden sich in diesem Falle zwei kongruent schmelzende Flüssigkeiten, Kalziumorthosilikat und Wollastonit, sowie eine inkongruent schmelzende Verbindung der Formel $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$. Außer diesen drei Verbindungen bildet sich aus den festen Bestandteilen CaO und $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ also nicht in Gegenwart von Schmelze noch eine vierte Verbindung $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, das Trikalziumsilikat. An der Kieselsäureseite treten wiederum in einem bestimmten Bereiche zwei Flüssigkeiten auf. Endlich kommen noch die kongruent schmelzenden Doppelverbindungen, sowie die Kieselsäure in mehreren Modifikationen vor. Es ist hier nicht nötig, diese Zustandsbilder noch eingehender zu behandeln, da sie den Mineralogen gut bekannt sind.

Von den binären Salzschnmelzen sind am besten die Halogenverbindungen untersucht worden, besonders die Chloride. In der Tabelle I

Tabelle I

Binäre Gemische von Chloriden einwertiger Metalle

	Na	K	NH ₄	Rb	Cs	Cu	Ag	Hg	Tl
Li	I _b	II _b	II _b	III _b	III _b	II _a	II _a		II _b
Na		I _b		II _b	II _b	II	I _a		II _b
K			I _a	I _b	I _b	III _b	II _b		I _a
NH ₄						II _b	II _b	II _b	
Rb					I _b	IV	II _b		I _a
Cs						IV	III		I _b
Cu							II	II _b	III _b

ist das Verhalten der binären Gemische von Chloriden einwertiger Metalle vermerkt. Die Systeme mit Ammonium sind, soweit sie bekannt sind, hinzugenommen. Die Tabelle zeigt, daß von den 17 untersuchten Systemen der Alkalichloride unter sich und zusammen mit Ammonium- und Thalliumchlorid neun Systeme vollständige Isomorphie aufweisen. Von den übrigen bilden sechs Paare eutektische Gemische

miteinander, nur bei zwei Systemen entsteht eine Doppelverbindung. Es sind das die Systeme von Lithiumchlorid mit dem diesem chemisch ferner stehenden Rubidium- und Caesiumchlorid. Werden zu diesen Systemen diejenigen hinzugenommen, die sich mit den einwertigen Chloriden von Kupfer, Silber und Quecksilber ergeben, so findet sich unter ihnen nur zwischen Natrium- und Silberchlorid ein System vollständiger Isomorphie. Diese Chloride stehen also einander chemisch nicht so nahe wie die Alkalichloride. Die Betrachtungen ließen sich auch mit Hilfe der größeren oder geringeren Ähnlichkeit der Kristallgitter führen, worauf weiter einzugehen hier nicht der Ort ist. In gleicher Art wie in diesem Falle das Verhalten der binären Gemische von Chloriden einwertiger Metalle zusammengestellt ist, ließen sich für die Salze anderer Metalle und anderer Säuren Tabellen des Verhaltens der binären Schmelzen aufstellen. Die Lücken in diesen Tabellen, welche den nicht untersuchten Systemen entsprechen, wären in diesen Fällen größer, vielfach erheblich größer, als in Tabelle I.

Die Tabelle II umfaßt binäre Systeme von Salzen gleicher Metalle, bei denen wenigstens eines der Salze ein Halogen ist. Die Tabelle zeigt, das sich vollkommene Isomorphie mit Ausnahme eines Systemes bei allen Salzpaaren von Chlorid—Bromid und bei Bromid—Jodid zeigt. Die Gemische aus Chloriden mit Jodiden bilden dagegen mit Ausnahme eines, des kaliumhaltigen, das vollkommen Isomorphie aufweist, Systeme mit Eutektika. Von den übrigen in der Tabelle II angegebenen Systemen zeigt nur noch Kaliumfluorid—Kaliumhydroxyd, wie bereits längere Zeit bekannt, vollständige Isomorphie. Die übrigen

Tabelle II

Binäre halogenhaltige Gemische einwertiger und zweiwertiger Metalle

	Na	K	Cu	Ag	Tl	Ca	Ba	Cd	Hg	Pb
F—Cl	II _b	II _b				III _b	III _a	III _b		IV
F—Br	II _b	II _b				III _b	III			IV
Cl—Br	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b	I _a
F—J	II _b	II _b				III _b	III _b	III _b		IV
Cl—J	II _b	I _b	II _b	II _b	II _b	II _b	II _b	II _b	II _b	II _b
Br—J	I _b	I _b	I _b	I _b	I _b			I _a	I _b	II _b
F—OH	II _a	I _a								
Cl—OH	II _a	II _a								
Br—OH	II _b	II _b								
J—OH	III _b	II _b								
Cl—NO ₃	II _b	II _b		II _b	II _a					
J—NO ₃				II _b	II _b					
Cl— $\frac{1}{2}$ SO ₄	II _b	II _b					III _a	II _b		III _a
F— $\frac{1}{2}$ CO ₃	II _b	III _a								
Cl— $\frac{1}{2}$ CO ₃	II _b	II _b								
F— $\frac{1}{3}$ PO ₄		II _b			III _a	II _b	III _a			III _a

Gemische gehören zumeist dem Typus mit Eutektikum an. Es gibt aber auch eine Anzahl, die eine Verbindung miteinander bilden, und demnach zum Typus III gehören. Drei Systeme, und zwar Bleifluorid mit Bleichlorid, -bromid oder -jodid gehören zum komplizierteren Typus IV. Man erkennt an diesen Systemen den Unterschied in der chemischen Verwandtschaft der Salze zueinander. Die Tabelle enthält eine große Anzahl Lücken, doch ließe sich mit Hilfe der untersuchten Systeme für verschiedene nicht untersuchte Gemische ihr wahrscheinliches Verhalten voraussagen.

In ähnlicher Weise wie Tabelle I könnte man auch Tabelle II erweitern und für Gemische anderer Metalle und Säuren das Verhalten zusammenstellen. Da aber viele Systeme noch nicht untersucht sind, würden derartige Tabellen erhebliche Lücken aufweisen. Dieses liegt naturgemäß besonders daran, daß die Zahl der Salzkombinationen außerordentlich groß ist. In einzelnen Fällen ist auch wegen zu hohen Schmelzpunktes die Untersuchung schwierig und bisher unterblieben. Andererseits findet bei einzelnen Komponenten Sublimation statt, was die Untersuchung erschwert, die, zum mindesten auf der einen Seite des Systemes nur in geschlossenen Röhren oder in Druckgefäßen gemacht werden kann. Fehlen aus diesen Gründen bisher viele Untersuchungen von binären Schmelzen, so kommt noch hinzu, daß die Untersuchung von Salzschnmelzen bisher vielfach vernachlässigt wurde, und erst neuerdings größere Beachtung gefunden hat.

C. Dreistoffmischungen (Schmelzen)

Die Zahl der im Schmelzfluß untersuchten Dreistoffmischungen ist nicht groß. Unter Benutzung der für binäre Systeme gegebenen Einteilung der Systeme soll eine kurze systematische Untersuchung der ternären Schmelzen gegeben werden, die sich nicht nur auf die bisher untersuchten Gemische erstrecken soll. Zunächst ist das Verhalten gleichioniger ternärer Salzgemische, und dann das reziproker Salzpaare erörtert. Besonders die letzteren Systeme bieten noch ein großes Feld für wissenschaftliche Arbeiten.

Bei der systematischen Auseinandersetzung dieser Art Salzsysteeme ließen sich gerade wie bei den binären Systemen verschiedene Gruppen nach der Anzahl der festen Gefügebestandteile unterscheiden. Hierbei würden aber in verschiedenen Fällen Systeme in dieselbe Gruppe kommen, die ganz verschiedener Art sind, lediglich weil die Anzahl der festen Phasen die gleiche ist. Zweckmäßiger ist folgende Einteilung in vier Gruppen, nach dem Verhalten des einfachsten zugehörenden binären Systemes. Es enthält in dem ternären System das einfachste der zugehörigen binären Grenzsysteeme: a) eine feste Phase, b) zwei feste Phasen, c) drei feste Phasen und

d) vier oder mehr feste Phasen. Auf die Unterteilung der binären Systeme, die zu diesen vier Gruppen gehören (I a, I b; II a, II b usw.), soll also keine Rücksicht genommen werden.

D. Gleichionige ternäre Salzschnmelzen

Für die ternären Systeme ergeben sich je nach der Art der drei binären Grenzsysteine verschiedene Möglichkeiten, die sich durch Kombination der Zahlen, die das Verhalten der binären Systeme anzeigen, ergeben. Zu den angegebenen vier Gruppen gehören alsdann folgende Kombinationen:

- | | | | |
|--------------|----------------|-------------------|----------------|
| a) 1: I I I | b) 1: II II II | c) 1: III III III | d) 1: IV IV IV |
| 2: I I II | 2: II II III | 2: III III IV | |
| I I III | 3: II II IV | 3: III IV IV | |
| I I IV | 4: II III III | | |
| 3: I II II | 5: II III IV | | |
| 4: I II III | 6: II IV IV | | |
| 5: I II IV | | | |
| 6: I III III | | | |
| 7: I III IV | | | |
| 8: I IV IV | | | |

Nach dieser schematischen Einteilung gäbe es 20 verschiedene Gruppen ternärer Gemische mit jedesmal derselben Anzahl fester Phasen in den drei binären Systemen. Von diesen Gruppen sind aber offenbar I I III und I I IV unmöglich, da schwerlich zwei gleichionige Salze, die mit einem dritten vollständig isomorph sind, unter sich Doppelsalze bilden. Somit gibt es also 18 verschiedene Gruppen ternärer gleichioniger Schmelzen.

Kennt man das Verhalten der drei binären Systeme, so ist damit das ternäre System in bezug auf seine Zugehörigkeit zu einer dieser Gruppen gegeben. In mehreren Fällen, besonders bei den Chloriden, sind alle drei zugehörigen binären Grenzsysteine bekannt. In vielen Fällen fehlt aber die Untersuchung eines oder gar zweier Systeme. Von den 18 verschiedenen Gruppen sollen einige etwas ausführlicher behandelt werden. In der Fig. 7 ist für eine Anzahl Systeme angegeben, wie die Ausscheidungsgebiete der festen Stoffe in der Darstellung im Dreieck sind. Nicht dargestellt ist der einfachste Fall (a_1), daß alle drei binären Systeme vollständig isomorph sind. Eine experimentelle Untersuchung über ein derartiges System liegt bis jetzt nicht vor. Das Vorkommen solcher Gemische wird auch, trotzdem eine große Anzahl binärer Systeme vollständige Isomorphie zeigen, gar nicht so häufig sein. Zu erwarten ist es z. B. bei den Gemischen der Chloride von Kalium, Rubidium und Caesium oder Kalzium, Cadmium und Magnesium oder der Sulfate von Natrium, Kalium und Silber.

Das erste Dreieck der Fig. 7 umfaßt solche Dreistoffmischungen, bei denen ein binäres Salzpaar ein Eutektikum bildet, die anderen beiden vollkommene Isomorphie aufweisen. Von diesen Systemen sind einige untersucht worden. Bei Legierungen war das Verhalten schon längere Zeit bekannt, und zuerst an den Metallmischungen Kupfer, Silber, Gold näher untersucht worden (JÄNECKE, Metallurgie 1909, S. 597). Wie die Abbildung zeigt, zerlegt sich das ganze Gebiet in zwei Teile, die durch einen Bogen begrenzt sind. Gemische innerhalb desselben bestehen nach dem Erstarren aus zwei Gefügebestandteile, außerhalb aus nur einem. Von dem eutektischen Punkte der unteren Kante erstreckt sich eine Kurve, welche sich auf flüssige Gemische bezieht, die mit jeweils zwei festen Misch-

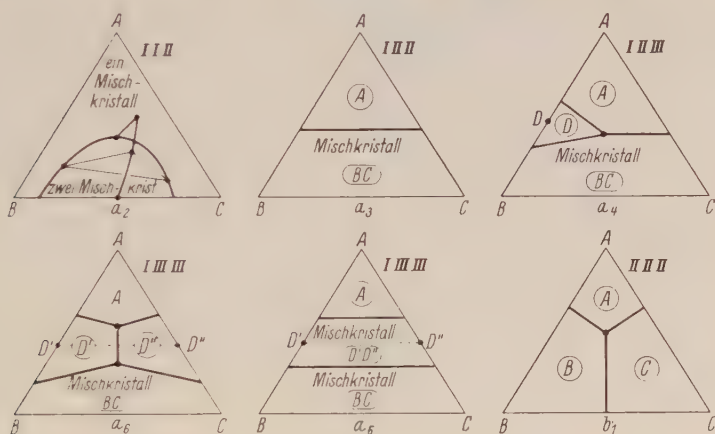


Fig. 7.

Ternäre Systeme mit 1—4 Bodenkörper.

kristallen auf der Grenzkurve im Gleichgewicht sind. Die Kurve endet in einem kritischen Punkte, welcher einer Flüssigkeit zugehört, die mit nur einem auf der Grenzkurve liegenden, bestimmt zusammengesetzten Mischkristall im Gleichgewicht ist. Das Verhalten dieser Art wurde beobachtet bei den Gemischen der Chloride von Lithium, Kalium und Natrium, bzw. Kalzium, Barium und Strontium¹⁾. Das binäre Eutektikum liegt in diesen Fällen zwischen Lithium- und Kalium- bzw. Kalzium- und Bariumchlorid. Weiter wurde das Verhalten beobachtet bei den Gemischen der Chloride, Bromide und Jodide von Silber²⁾. Das Eutektikum liegt in diesem Fall zwischen Silberchlorid und -jodid.

Das durch die zweite Figur dargestellte Verhalten findet sich

¹⁾ SCHAEFER, Diss., Univ. Berlin 1919.

²⁾ MATTHES, N. Jahrb. f. Min. 1910, Beil.-Bd. 31, S. 382.

bei verschiedenen Dreistoffmischungen. Die als Bodenkörper auftretenden festen Stoffe sind im unteren Gebiet des Dreiecks Mischkristalle, die zu dem einen binären System zugehören, in dem oberen Gebiete das dritte Salz. Es bildet sich eine eutektische Kurve heraus, die durch das Dreieck hindurchläuft, und die beiden eutektischen Punkte der binären Systeme miteinander verbindet. In vielen Fällen zeigt diese eutektische Kurve ein Minimum der Temperatur. Besonders dann, wenn auch die beiden isomorphen Salze ein solches aufweisen. Dieses Verhalten wurde in mehreren Fällen beobachtet: Bei den Chloriden Barium, Natrium und Strontium¹⁾ sind

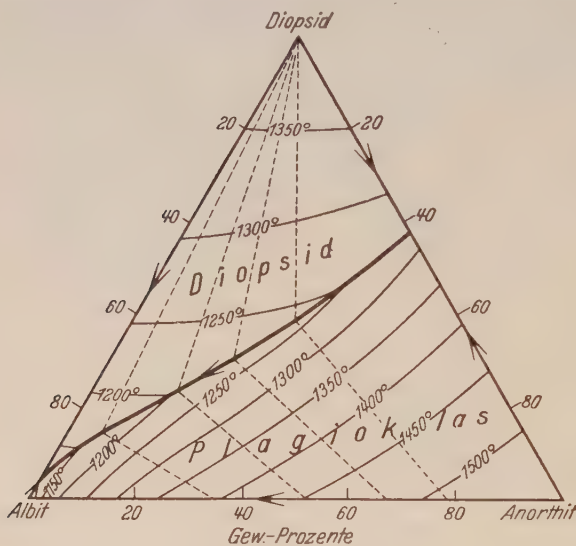


Fig. 8.

System vom Typus I II II (nach N. L. BOWEN).

neben Natriumchlorid die Mischkristalle zwischen Barium- und Strontiumchlorid die vorkommenden Bodenkörper. Bei den Nitraten von Barium, Kalium und Natrium²⁾ treten als Bodenkörper auf Bariumnitrat und Mischkristalle von Kalium—Natriumnitrat. In diesen beiden Fällen zeigt die eutektische Kurve eine Minimumtemperatur an. Anders ist es aber in dem Fall der

Chloride, Bromide und Jodide von Blei³⁾, wo die eutektische Kurve interessanterweise ein Maximum hat. Auftretende Bodenkörper sind alsdann Bleijodid und Mischkristalle zwischen Bleichlorid und -bromid.

Die Fig. 8 enthält als weiteres Beispiel dieses Falles ein System von Silikaten. Die drei auftretenden Verbindungen sind Diopsid, Albit und Anorthit. Die beiden letzteren bilden die lückenlose Reihe Mischkristalle der Plagioklasse. In der Figur sind auch die Schmelztemperaturen vermerkt worden. Die Temperaturen auf der eutektischen Kurve liegen zwischen denen der beiden eutektischen Gemische der binären Systeme. Der Zusammensetzung nach liegt das

¹⁾ VORTISCH, Diss., Univ. Berlin 1914.

²⁾ HARKIN u. CLARK, Journ. Amer. Chem. Soc. 1915, Bd. 37, S. 180.

³⁾ MATTHES, N. Jahrb. f. Min. 1910, Beil.-Bd. 31, S. 382.

eine sehr nahe der Albitecke des Dreiecks. Für einige Gemische auf der eutektischen Kurve ist auch noch der Zusammenhang mit den zugehörigen Bodenkörpern durch gestrichelte Linien wiedergegeben.

Auch bei einigen Oxyden ist das Auftreten zweier Arten Bodenkörper, einer Reihe Mischkristalle einerseits und eines einheitlichen Stoffs andererseits zu erwarten. So z. B. bei den Oxyden von Eisen, Chrom und Aluminium. Die Oxyde der beiden letzten Metalle bilden eine lückenlose Reihe von Mischkristallen. Die Schmelztemperaturen

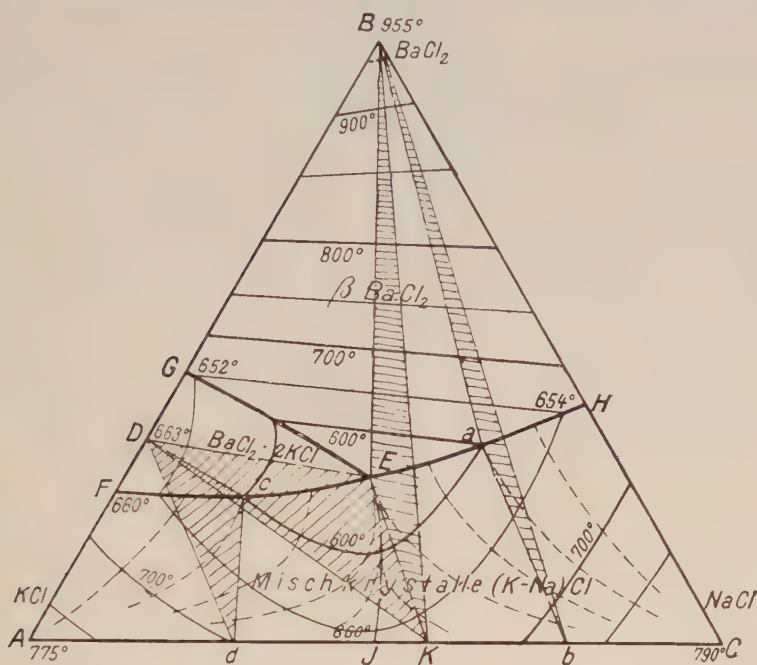


Fig. 9.
System vom Typus I II III.

sind in diesem System recht hoch. In diesem Falle werden aber, wie auch in anderen, die auftretenden festen Phasen nicht einfach binäre Mischkristalle oder der dritte einheitliche Stoff sein, sondern es werden ternäre Mischkristalle auftreten, die alle drei Verbindungen in einheitlicher Mischung enthalten.

Gruppe a_4 . Ein System, in welchen eines der drei binären Grenzgemische Mischkristalle zeigt, eines ein Eutektikum, und eines eine kongruent schmelzende Verbindung, ist in der Fig. 9¹⁾ dargestellt.

¹⁾ GEMSKY, Diss., Univ. Berlin 1913; VORTISCH, N. Jahrb. f. Min. 1914, Beil.-Bd., S. 513; JÄNECKE, Centralbl. f. Min. 1919, S. 271.

Es bilden sich drei Gebiete heraus, die sich auf die Ausscheidung der drei verschiedenen festen Körper beziehen. Von den drei auf den Grenzlinien liegenden binären eutektischen Punkten erstrecken sich in das Innere des Dreiecks drei eutektische Kurven, die sich in einem Punkte treffen. Beim Erstarren einer Mischung von der Zusammensetzung dieses ternären Eutektikums scheiden sich drei feste Stoffe aus: außer Bariumchlorid und dem Doppelsalze ein Mischkristall der Zusammensetzung K. Für das ternäre System hat dieser Mischkristall besondere Bedeutung und wird deswegen „Hauptmischkristall“ genannt. Im binären Systeme hat er keine besondere Bedeutung, sondern ist ein Mischkristall wie alle anderen. Es ergibt sich in diesem Falle für das ternäre System eine besondere Art der Erstarrung: Alle Gemische außerhalb des Dreiecks B D K erstarren, wenn stets Gleichgewicht zwischen Bodenkörper und Schmelze besteht, zu Gemischen aus einem bestimmten Mischkristall und entweder Doppelsalz oder Bariumchlorid, bestehen also nach der Verfestigung aus nur zwei Bestandteilen. In der Fig. 9 ist durch gestrichelte Linien angedeutet, wie der Verlauf der Kristallisationsbahnen in dem Felde der Mischkristalle ist. Durch eine Minimumkurve I E ist ihre Richtung geschieden, indem die Bahnen einmal von dem einen Eckpunkt, das andere Mal von dem anderen ausgehen. Alle Gemische, die im Innern des Dreiecks B D K liegen, führen beim Erstarren zum ternären Eutektikum, enthalten also nach ihrer Verfestigung drei Gefügebestandteile.

Gruppe a_6 . Von den ternären Systemen mit einem Grenzsystem binärer Mischkristalle soll noch auf das hingewiesen werden, bei dem zwischen den beiden anderen binären Systemen je eine Verbindung auftritt. Diese Gruppe a_6 kann zu solchen Gemischen Veranlassung geben, daß sich, wie Fig. 7 in dem vierten Dreieck angibt, vier feste Phasen ausbilden, außer den beiden Doppelsalzen die Mischkristalle des einen binären Grenzsystemes und das dritte Salz. Interessanter ist aber der Fall, wie ihn das fünfte Dreieck der Fig. 7 anzeigt, daß auch zwischen den beiden Verbindungen Mischkristalle auftreten. In diesem Fall enthält das System nur drei Arten Bodenkörper, außer dem einen Salz, das keine Mischkristalle bildet, die Mischkristalle der beiden anderen Salze und die der beiden Doppelsalze. Ein solcher Fall wurde beobachtet bei den Karbonaten von Kalzium mit Kalium und Natrium. Es treten die beiden Doppelsalze $K_2Ca(CO_3)_2$ und $Na_2Ca(CO_3)_2$ auf ¹⁾. Diese bilden, ebenso wie die einfachen Karbonate von Kalium und Natrium, Mischkristalle miteinander.

¹⁾ NIGGLI, Zeitschr. anorg. Chem. 1919, Bd. 106, S. 131.

Ternäre Systeme ohne Mischkristalle in den beiden Grenzsyste men

Sehr zahlreich sind solche Systeme, bei denen in keinem der binären Gemische Mischkristalle auftreten. Die Zahl der wirklich untersuchten Gemische dieser Art ist allerdings noch sehr gering. Besonders häufig werden sich solche Dreistoffmischungen finden, bei



Fig. 10.

Kieselsäure—Forsterit—Diopsid (nach Bowen).

denen alle drei binären Gemische Eutektika aufweisen (b_1). Aber auch Systeme mit Verbindungen sind nicht selten. An Hand der bei den binären Systemen bekannten Verbindungen lassen sich leicht solche Systeme auffinden. Von den einfacheren Systemen, die nach der angegebenen Einteilung der Gruppe b_2 angehört, soll das interessante System Kieselsäure, Forsterit, Diopsid erwähnt werden (Fig. 10). Dasselbe ist eigentlich nur ein Teilsystem aus dem System Kalk, Magnesiumoxyd, Kieselsäure und wird auch zweckmäßig in Zusammenhang mit diesem betrachtet. Bis zu einem gewissen Grade läßt es sich aber als selbständiges System auffassen. Es ist von besonderem

Interesse dadurch, daß auf den Grenzsysteimen keine Mischkristalle vorkommen, dagegen zwischen einer Verbindung, die auf einer Grenzkante liegt und der in der gegenüberliegenden Ecke des Dreiecks angegebenen Verbindung. Die zwischen diesen beiden (Diopsid und Klinkenstatit) auftretenden Mischkristalle sind die interessanten Pyroxene. Infolge dieses Verhaltens findet eine Zerlegung des darstellenden Dreiecks in der Fig. 10 derart statt, daß sich zwischen die Gebiete für Forsterit und Cristobalit das Gebiet der Mischkristalle einschleibt. In die Fig. 10 eingezeichnet sind auch noch die Schmelztemperaturen für die Gemische. Dieses Verhalten stellt aber einen völlig unnormalen Fall dar, er ist neuerdings auch

im System $\text{CaO}—\text{Fe}_2\text{O}_3—\text{SiO}_2$ beobachtet.

In normalen Fällen ist das Verhalten wesentlich anders. Bei Kenntnis der binären Systeme läßt sich vielfach bereits ohne neue Experimentaluntersuchungen das ternäre System ziemlich gut konstruieren. Erst wenn die Grenzsysteime komplizierter werden, wird dieses schwieriger oder auch nicht mehr mög-

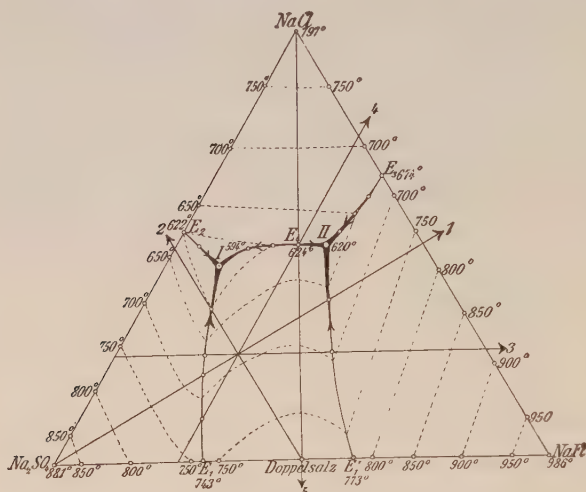


Fig. 11.

$\text{NaCl}—\text{NaF}—\text{Na}_2\text{SO}_4$ (nach WOLTERS).

lich. Einen normalen Fall der Gruppe a_4 stellt das System aus Natriumchlorid, Natriumfluorid und Natriumsulfat dar, wie es in der Fig. 11 angegeben ist. Zwischen Natriumsulfat und Natriumfluorid bildet sich ein Doppelsalz, während die beiden anderen Grenzsysteime Eutektika zeigen. In diesem Falle bildet sich auch zwischen dem Doppelsalz und dem dritten Salze ein binäres Eutektikum heraus. Die Gerade, die sich in dem Dreieck durch Verbindung dieser Punkte ziehen läßt, zerlegt es in zwei kleinere Dreiecke mit je einem ternären Eutektikum. Hierdurch wird das ternäre System vollständig in zwei andere mit der Verbindung als eine Komponente zerlegt. Beim Erstarren der Gemische wird entweder der eine oder andere ternäre eutektische Punkt erreicht.

Wenn in einem Dreistoffsystem die binären Grenzgemische komplizierter werden, wird es natürlich auch das Dreistoffsystem selbst.

Solange die binären Grenzsysteeme der Gruppe mit Eutektikum oder mit nur einer Verbindung angehören, ist es nicht wahrscheinlich, daß das ternäre System eine ternäre Verbindung aufweist. Durch Zerlegung des Dreiecks unter Berücksichtigung der in dem binären System beobachteten Schmelzpunkte in die verschiedenen Ausscheidungsgebiete ist es vielfach wie erwähnt möglich, über ein noch nicht untersuchtes ternäres System etwas auszusagen. Einige der

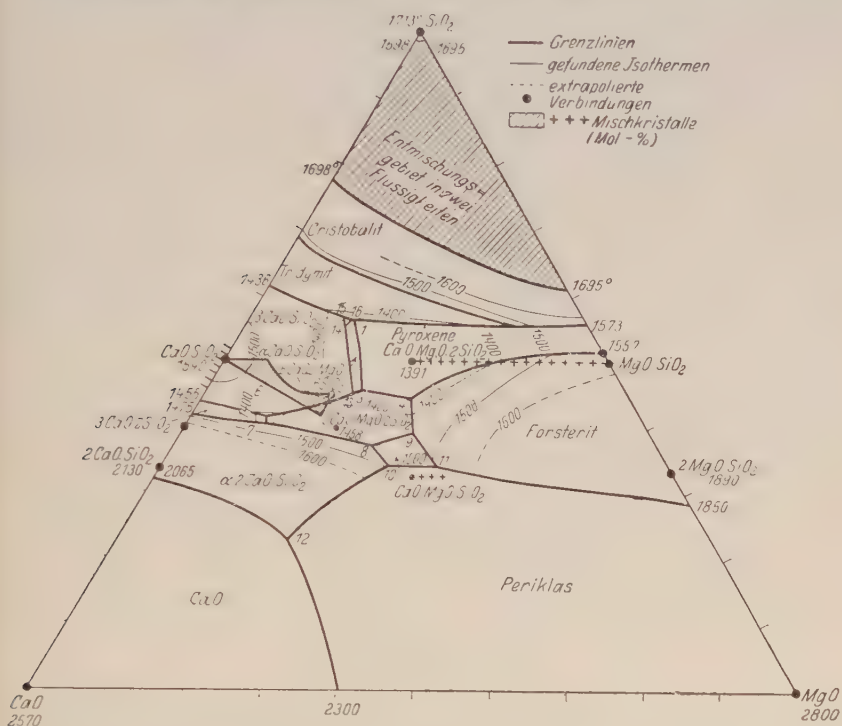


Fig. 12.

System $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ (nach FERGUSON u. MERWIN, ergänzt nach GREIG).

wenigen genau untersuchten Systeme mit komplizierterem Charakter der binären Grenzsysteeme sollen noch kurz betrachtet werden.

Das System Kalk—Magnesiumoxyd—Kieselsäure gehört zu der Gruppe b_6 (II IV IV). Eines der drei Grenzsysteeme enthält nur eine eutektische Mischung, die beiden anderen sind erheblich komplizierter (Fig. 12). Außer verschiedenen Verbindungen findet sich in ihnen noch je ein Gebiet der Entmischung in zwei Flüssigkeiten. Wenn ternäre Verbindungen nicht schon bekannt gewesen wären, war von vornherein zu erwarten, daß solche auftreten mußten. Außer der Verbindung der Formel $5\text{CaO} \cdot 2\text{MgO} \cdot 6\text{SiO}_2$ sind es die Mineralien

Von den komplizierteren Systemen sollen noch die beiden erwähnt werden, die sich aus Magnesiumoxyd und aus Kalziumoxyd mit Tonerde und Silizium bilden. Das erste System $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (Fig. 13) gehört zu der Gruppe c_2 (III III IV). Es enthält zwei Grenzsyste-
me mit je einer Verbindung und ein komplizierteres System mit zwei Verbindungen. Da es nur ein komplizierteres binäres Grenzsyste-

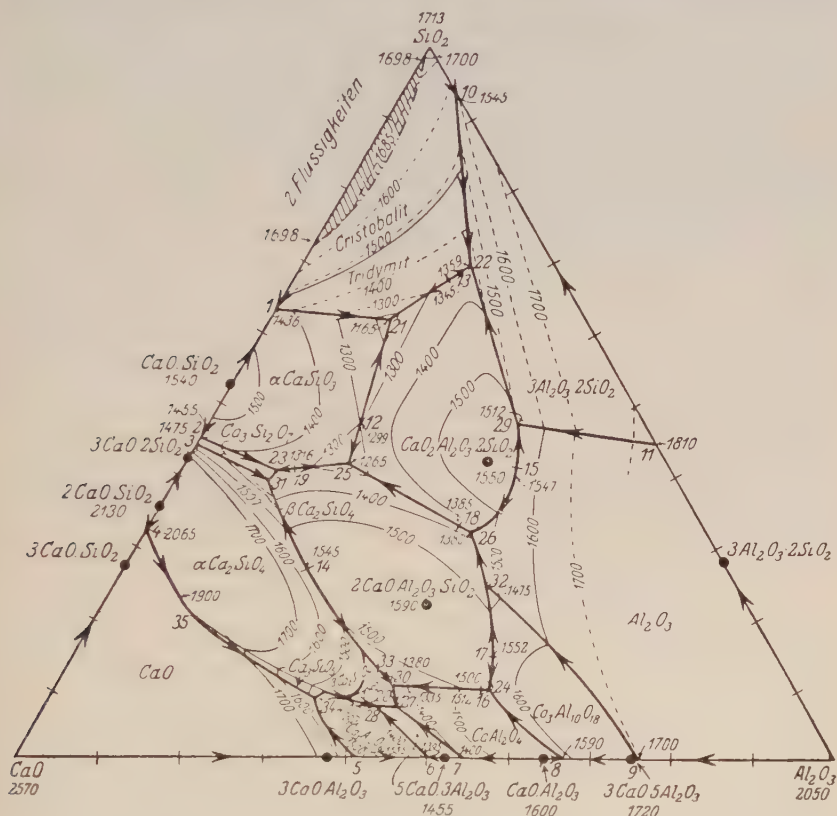


Fig. 14.

System $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (nach RARKIN, ergänzt von GREIG).

vom Typus IV umfaßt, ist es einfacher als das vorher auseinander-
gesetzte (II IV IV) mit zwei Systemen dieser Art. Das System Ma-
gnesiumoxyd—Tonerde—Kieselsäure enthält eine ternäre Verbindung.
Es ist das das wichtige Mineral Cordierit, welches Mischkristalle
bildet, indem das Verhältnis der Moleküle von Magnesiumoxyd und
Tonerde gleich ist und die Menge Siliziumdioxid wechseln kann. Es
bilden sich Mischkristalle mit 2.5 bis 3 SiO_2 auf je ein Mol. der beiden
anderen Oxyde. Ausgezeichnet ist das ternäre System auch noch

durch zwei an verschiedenen Seiten liegende Gebiete, in denen die Bildung zweier Flüssigkeiten zu beobachten ist. In die Figur sind einige Isothermen eingezeichnet, die bei höherer Temperatur durch Extrapolation gefunden wurden.

In der Fig. 14 ist das außerordentlich wichtige System der Kalk—Tonerde—Silikate wiedergegeben. Es entspricht dem Typus C_3 (III IV IV), zwei Grenzsysteine gehören dem Typus VI an, eines III. Das Auftreten verschiedener Verbindungen würde sich hieraus ohne weiteres wahrscheinlich gemacht haben, wenn solche auch hier nicht schon vor Untersuchung des Schmelzbildes bekannt gewesen wären. Die Verbindungen, die sich bilden, sind Anorthit und Gehlenit. Für sie und für die übrigen auftretenden Bodenkörper ergeben sich die Ausscheidungsgebiete, wie sie die Figur zeigt. Außerdem bildet sich ein Gebiet mit zwei Flüssigkeiten heraus. Von Interesse ist auch noch die eine binäre Verbindung, Trikalziumsilikat, die ein Ausscheidungsgebiet im ternären System hat, während es im binären System nicht im Gleichgewicht mit Schmelzen möglich ist. Auch dieses System ist so oft behandelt worden, daß es nicht notwendig erscheint, hier noch weiter darauf einzugehen. Erwähnt soll noch werden, daß auch im kalkreichen Gebiete Mischkristalle mit $2CaO \cdot SiO_2$ auftreten, in dem die Baugruppe $Al^{+++}Ca^{++}Al^{+++}$ an Stelle von $Si^{++++}Si^{++++}$. Dieses führt zur Erklärung der beobachteten mikroskopisch einheitlichen Schmelzen (Zement 1932, S. 379). In der Fig. 14 ist dieses nicht berücksichtigt.

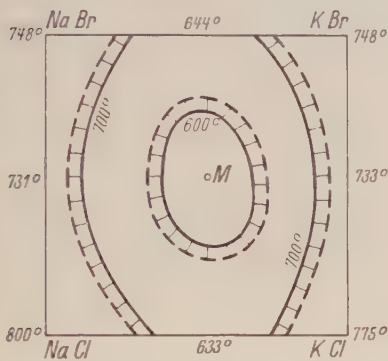
E. Reziproke Salzpaare (Schmelzen)

Zu den Dreistoffmischungen gehören auch die reziproken Salzpaare. Man versteht hierunter Gemische, bei denen zwei positive und zwei negative Bestandteile vier verschiedene Salze bilden, so daß sich Umsetzungsmöglichkeiten ergeben, etwa nach der Art $M'S' + M''S'' = M'S'' + M''S'$. Es gibt unter den Mineralien eine Anzahl Stoffe, die gleichzeitig verschiedene Säuren und verschiedene Metalle enthalten. Ihre Untersuchung im Schmelzfluß müßte nach den Gesetzen für die Schmelzen reziproker Salze erfolgen. Deswegen ist es auffallend, daß die Anzahl der wirklich ausgeführten Untersuchungen so sehr gering ist, besonders auch da die Zahl der möglichen Systeme außerordentlich groß ist. Berücksichtigte man z. B. nur 8 verschiedene Säuren und 24 Metalle, also nur einfache Salze, so ließen sich aus diesen 7728 reziproke Salzpaare bilden. Zweifellos wird ihre Untersuchung auch noch zur Auffindung unbekannter einfacher und tetragener Doppelsalze führen.

In ähnlicher Weise wie bei den vorher untersuchten Dreistoffmischungen lassen sich die reziproken Salzpaare bei Berücksichtigung der binären Schmelztypen in Gruppen zusammenfassen. Zu den ersten

Gruppen (a) gehören diejenigen, bei denen von dem begrenzenden binären System wenigstens eines dem Typus I der binären Systeme entspricht. Die zweiten Gruppen (b) enthalten diejenigen Systeme, bei welchen von den binären Grenzgemischen mindestens eines vom Typus II ist und keines zu I gehört. Das einfachste binäre Grenzsystem der nächsten Gruppen (c) ist vom Typus III und endlich gibt es eine vierte Gruppe (d), bei der alle vier Grenzsysteme dem Typus IV zugehören. Von diesen verschiedenen Gruppen sollen nur einige hervorgehoben werden. Die Ergebnisse werden, wie bekannt, durch eine quadratische Darstellung zum Ausdruck gebracht.

Der einfachste Typus findet sich beim Typus a_1 (I I I I), wobei die vier binären Grenzsysteme vollständig isomorph sind, nach der Bezeichnung ihres Verhaltens also mit I bezeichnet werden. Vollständig untersucht ist in dieser Hinsicht das System der Gemische



Reziproke Salzpaare (schematisch).
Fig. 15. Typus I I I I.

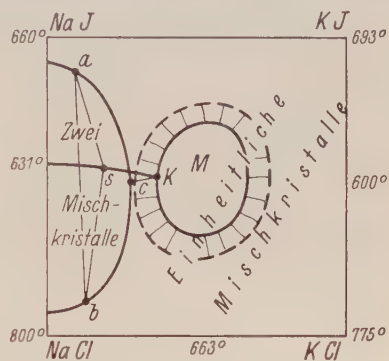


Fig. 16. Typus I I I I I.

der Sulfate und Chromate von Kalium und Natrium. Durch Auftreten neuer Modifikationen nach dem Erstarren wird es aber kompliziert. Dem gleichen Typus vollständiger Isomorphie wird das nicht untersuchte System $(Na,K)(Cl,Br)$ der Chloride und Bromide von Natrium und Kalium zugehören. In den binären Grenzgemischen bildet sich hierbei in jedem Falle ein Schmelzpunktminimum heraus. Mit einiger Wahrscheinlichkeit läßt sich ein Schmelzbild des reziproken Salzpaars konstruieren, wie es etwa in der Fig. 15 geschehen ist. Es bildet sich ein ternäres Minimum heraus mit einer Schmelztemperatur, die jedenfalls unter 600° liegt. In der Figur sind zwei Isothermen bezeichnet, wie sie sich etwa bei 600° und 700° finden werden. Gestrichelt angegeben sind die den Schmelzen dieser Temperaturen zugehörigen Bodenkörper.

Ein interessanter Fall ist in der Fig. 16 skizziert. Er entspricht einem System reziproker Salzpaare, bei dem drei der binären Systeme

lückenlose Reihe Mischkristalle zeigen und eines ein Eutektikum (I I I II). Ein solcher Fall ist z. B. zu erwarten bei dem System $(\text{Na}, \text{K})(\text{Cl}, \text{J})$, den Schmelzen der Chloride und Jodide von Natrium und Kalium. In ähnlicher Weise wie vorher in Fig. 7₁ angegeben ist, bildet sich jetzt innerhalb des Quadrates wie damals im Dreieck, ein Gebiet einheitlicher Mischkristalle heraus, das sich in dem gewählten Beispiel vom Natriumjodid über Kaliumjodid und Chlorkalium nach Natriumchlorid erstreckt. Dieses Gebiet wird getrennt von dem anderen Teil des Quadrates durch eine Kurve, innerhalb welcher zwei Mischkristalle Bodenkörper sind. In der Fig. 16 ist auch noch angegeben, welcher Art die eutektische Kurve sein wird. Sie läuft bis zu einem kritischen Punkte im Innern des Quadrates. Auf der Kurve liegen, wie die Figur zeigt Schmelzen, die mit zwei Bodenkörpern im Gleichgewicht sind, z. B. s mit a und b, während der kritische Endpunkt K im Gleichgewicht mit nur einem Mischkristall ist. Dieser Mischkristall C ist aufzufassen als entstanden durch Zusammenfallen zweier Mischkristalle. Die Temperatur des kritischen Gemisches ist aber nicht etwa die tiefste Temperatur des Systemes, die durch M angedeutet ist. Eine experimentelle Untersuchung des Systemes wäre von Interesse.

In der Fig. 17 ist ein System angegeben $(\text{Na} - \text{K})(\text{Cl} - \frac{1}{2}\text{SO}_4)$, welches nach dem Verhalten der binären Grenzsysteme mit (I II I II) bezeichnet werden müßte. Es wurde bereits vor längeren Jahren untersucht. Das Quadrat wird durch eine eutektische Linie in zwei Gebiete zerlegt. Im oberen Teile sind die Mischkristalle der Chloride von Natrium und Kalium Bodenkörper, im unteren Teile die ihrer Sulfate. Die eutektische Linie zeigt ein Minimum bei 515° . Außerdem sind in der Figur die beiden Isothermen für 600° und 700° vermerkt. Bei der Minimumtemperatur erstarrt die zugehörige Mischung unter Bildung zweier Mischkristalle a und b. In der Figur liegen diese mit der Schmelze auf einer Geraden.

Auch noch andere Systeme, bei denen vollständige Mischbarkeit in den binären Grenzsystemen vorkommt, sind von Interesse. Besonders dasjenige der Hydroxyde und Fluoride von Kalium und Natrium $(\text{K} - \text{Na})(\text{F} \text{ OH})$. In diesem Falle sind die beiden binären Systeme, die KOH als eine Komponente enthalten, vollkommen isomorph, die beiden anderen zeigen ein Eutektikum. Das System wäre zu bezeichnen I I II II. Dieses führt dazu, daß sich zwei Arten Kristalle aus dem Schmelzfluß ausscheiden müssen, solche, die nach Natriumfluorid kristallisieren, und solche Mischkristalle von Kaliumhydroxyd unter Ersatz von KOH durch NaOH und KF bis zu den Mischkristallen der reinen Fluoride einerseits und der reinen Natriumsalze andererseits. Es gibt auch Systeme, in denen nur eines der binären Grenzsysteme vollständige Mischbarkeit in festem Zustande

zeigt und die anderen drei Eutektika (I II II II). Ein solcher Fall ist z. B. zu erwarten bei $(\text{Na}-\text{Ag})(\text{Cl}-\text{NO}_3)$, den Chlorid- und Nitratgemischen von Natrium und Silber, wo nur zwischen Natriumchlorid und Silberchlorid vollständige Isomorphie herrscht. In dem ternären reziproken Salzsysteme treten jetzt drei Arten Mischkristalle auf, indem sich ein ternäres Eutektikum bildet. Auch dieses System muß erst noch experimentell untersucht werden.

Ein besonders einfaches System liegt dann vor, wenn die Grenzsysteeme sämtlich eutektische Mischungen aufweisen (II II II II). In solchen Fällen zerlegt sich das Gebiet innerhalb des Quadrates in die Ausscheidungsgebiete der vier Salze. Es bilden sich zwei Dreisalzpunkte heraus, die Mischungen darstellen, welche im flüssigen Zustande mit drei Bodenkörpern im Gleichgewicht sein könne. Eines dieser beiden ist stets ein ternäres eutektisches Gemisch, das andere

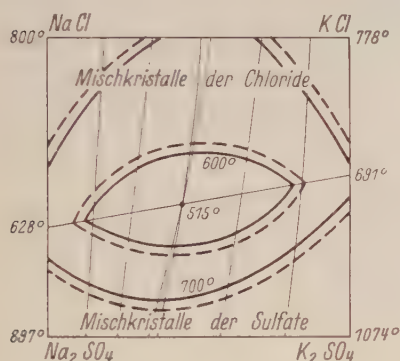


Fig. 17. Typus I II I II.

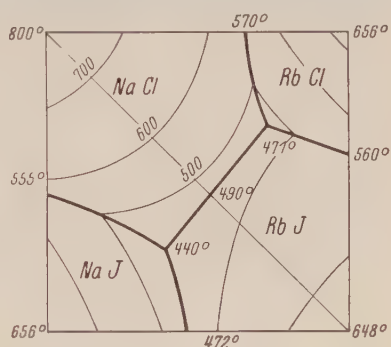


Fig. 18. Typus II II II II.

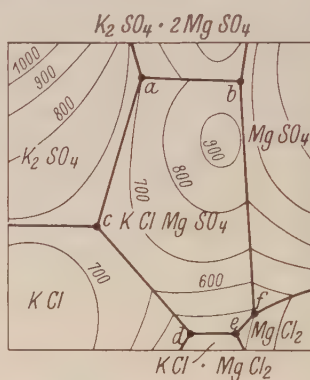
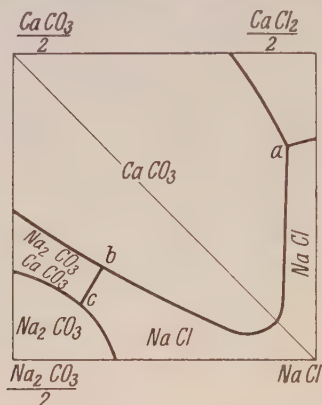
kann auch ein Übergangsgemisch sein. In der Fig. 18 ist eine Untersuchung des Systemes $(\text{Na}-\text{Rb})(\text{Cl}-\text{J})$, der Chloride und Jodide von Natrium und Rubidium wiedergegeben, bei der zwei eutektische ternäre Mischungen auftreten. Sämtliche vier Salze bilden in diesem Falle in geringem Umfange durch Aufnahme der anderen Mischkristalle. Die beiden Salze NaCl und RbJ sind das stabile Salzpaar und bilden ein binäres Eutektikum miteinander. Das System zerlegt sich vollständig in zwei für sich bestehende ternäre Systeme.

Ein komplizierteres System, welches zu der Gruppe (II II II III) gehört, ist in der Fig. 19 dargestellt. Es bezieht sich auf $(\text{Na}-\frac{1}{2}\text{Ca})(\text{Cl}-\frac{1}{2}\text{CO}_3)$, die Chloride und Karbonate von Natrium und Kalzium. Außer den einfachen Salzen tritt ein Doppelkarbonat von Natrium und Kalzium auf. In diesem Falle zerlegt sich ähnlich der Fig. 18 durch eine Diagonale die Figur in zwei scharf voneinander verschiedene Systeme. Eines desselben zeigt ein ternäres Eutek-

tikum, das andere zwei Dreisalzpunkte, von denen der eine eine eutektische Mischung darstellt.

Das immer noch komplizierteste System, das bisher untersucht wurde, obwohl diese Untersuchung bereits fast 25 Jahre zurückliegt, ist $(\text{Na} - \frac{1}{2}\text{Mg})(\text{Cl} - \frac{1}{2}\text{SO}_4)$, das der Chloride und Sulfate von Natrium und Magnesium. Es gehört zu der Gruppe (II III II III). In diesem Falle gibt es ein ternäres Salz, welches alle vier Ionen des Systems enthält, der Formel KClMgSO_4 . Dieses zeigt, ebenso wie die binären Doppelsalze, einen kongruenten Schmelzpunkt. In dem System sind fünf von den sechs Dreisalzpunkten eutektischer Art.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, daß man in vielen Fällen über das Verhalten des reziproken Salzpaars etwas voraussagen kann, wenn man das der vier binären Grenzsyste me kennt. In vielen



Reziproke Salzpaare.

Fig. 19. Typus II II II II.

Fig. 20. Typus II III II VI.

Fällen läßt sich unmittelbar ein ziemlich richtiges Schmelzbild konstruieren. Überraschend ist es daher, daß solches in einzelnen Fällen nicht möglich ist. Die Fig. 21 gibt z. B. die Ergebnisse der Untersuchung der Bromide und Nitrates von Kalium und Thallium wieder, das zu der Gruppe (II II II III) gehört. Zwischen Kaliumnitrat und -bromid soll sich ein inkongruent schmelzendes Doppelsalz bilden, das ein sehr kleines Gebiet des Gleichgewichtes mit Schmelze hat. Überraschend ist es, daß in diesem System in weitem Umfang die Bildung zweier Flüssigkeiten beobachtet wurde, obwohl in den Grenzsyste men nicht die geringste Andeutung dafür vorliegt. Die eine Diagonale enthält das System $\text{KNO}_3 - \text{TlBr}$, in dem in weitem Umfange die Bildung zweier Flüssigkeiten beobachtet wird. Diese Diagonale zerlegt das Quadrat in zwei Dreiecke, die zu zwei ternären Systemen führen, die vollständig für sich betrachtet werden können. Außer den Ausscheidungsgebieten der Salze gibt es in beiden Systemen

des reziproken Salzpaars noch ein großes Gebiet, in dem die Bildung zweier Flüssigkeiten beobachtet wird. Im allgemeinen werden derartige Unregelmäßigkeiten selten sein und sich auf Entmischungserscheinungen einander chemisch fernstehender Salze (KNO_3 — TlBr) beschränken.

Diejenigen Mineralien, die zwei Metalle und gleichzeitig zwei Säuren enthalten, lassen sich in der angegebenen Art der reziproken Salzpaare untersuchen. Bei der Darstellung in Quadraten sind die beiden Metalle unter Berücksichtigung ihrer Wertigkeit oben und unten und die Säuren auch unter Berücksichtigung der Wertigkeit links und rechts zu vermerken. Auf diese Weise kommen die vier möglichen einfachen Salze in die Eckpunkte des Quadrates zu liegen. Es gibt eine Anzahl Mineralien, die gleichzeitig Fluor- und Phosphorsäure und zwei Metalle enthalten. Zu diesen gehört Triplit FMnFePO_4 , Herderit FCaBePO_4 , Amblygonit FAlLiPO_4 . Werden in einem Quadrate die beiden Metalle dividiert durch ihre Wertigkeit an die obere und untere Kante geschrieben, sowie Fluor an die linke Seiten-

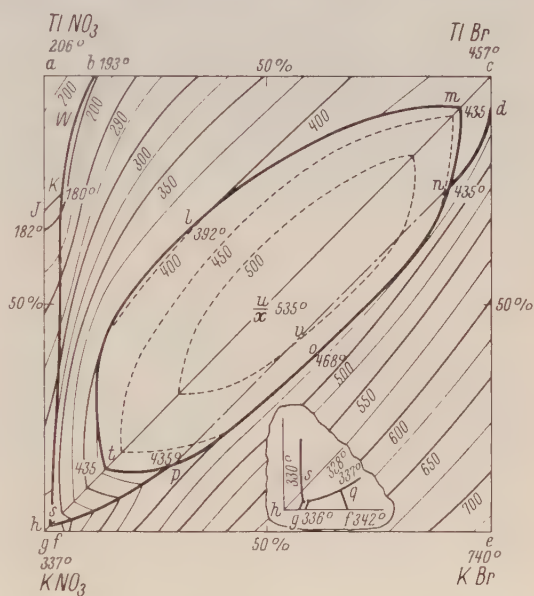


Fig. 21.

System (Tl)(Br, NO_3) nach ROSKOWSKY. Typus II II II III.

kante und PO_4 auf die rechte, so liegen in den Ecken des Quadrates links die Fluorverbindungen der beiden Metalle und rechts die Phosphate. Die angegebenen Mineralien erhalten dadurch einen bestimmten Platz als Punkte im Innern des Quadrates. Durch Untersuchung der Gemische im Quadrat ließen sich das Verhalten der Doppelverbindungen in bezug auf benachbarte Mischungen und ihre Bildungsweise aus dem Schmelzfluß angeben. Soweit sie nicht schon bekannt sind, müßten für die binären Grenzsysteeme neue Untersuchungen gemacht werden, so daß sie in die Figur einbezogen werden könnten.

Der gewöhnliche Fluorapatit der Formel $\text{FCa}_5\text{P}_3\text{O}_{12}$, der also nur ein Metall enthält, sowie andere Phosphate ähnlicher Formel lassen

sich auch durch einen Punkt innerhalb eines Quadrates wiedergeben, wenn man die Fluoride den Oxyden gegenüberstellt und auf die eine Seitenkante in die Ecken die Verbindungen CaO und P_2O_5 unter Berücksichtigung ihrer Wertigkeit legt. Auf der Kante der Oxyde liegen alsdann die Kalkphosphate mit verschiedenem Säuregehalt. Es ergäbe sich alsdann die Möglichkeit, durch Veränderung des Gehaltes an den verschiedenen Bestandteilen eine entsprechende durch ein Quadrat dargestellte Untersuchung zu machen. In ähnlicher Weise ließen sich auch andere z. B. borsäurehaltige Mineralien wie Boracit $\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_{16}\text{O}_{30}$ durch einen Punkt in einem Quadrate darstellen und entsprechende Untersuchungen ausführen.

Andere Mineralien mit zwei Metallen, die zu einer gleichen Betrachtung führen, enthalten neben Kieselsäureverbindungen Salze einer zweiten Säure, so Marialith $\text{NaCl} \cdot 3\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ oder die Mineralien der Sodalithgruppe, welche Doppelverbindungen von 3NaAlSiO_4 mit anderen Salzen sind: mit CaCl_2 Davyn, Na_2CO_3 Cancrinit, NaCl Sodalith, Na_2SO_4 Nosean. Noch komplizierter ist Turmalin, wovon noch unten die Rede sein wird.

F. Vierstoffmischungen (Schmelzen)

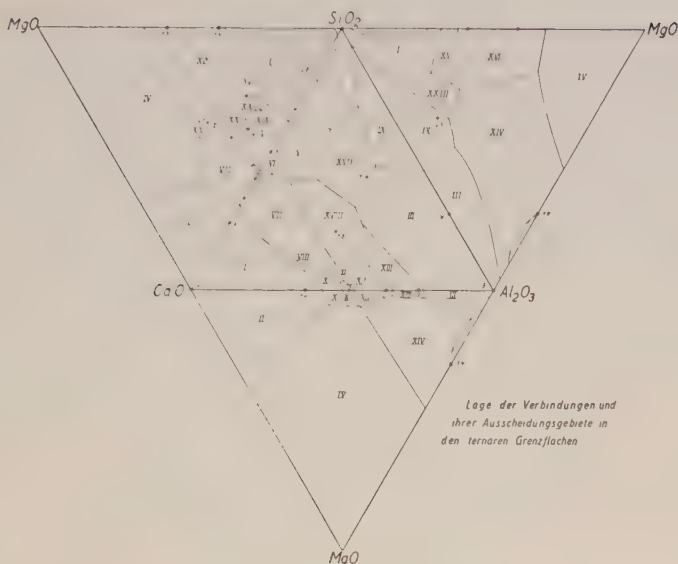
Von Vierstoffmischungen liegen keine vollständigen Untersuchungen des Verhaltens im Schmelzfluß vor, wobei von Legierungen abzusehen ist. Es sollen deswegen hier nur zwei wichtige Beispiele behandelt werden, welche den beiden verschiedenen Arten von Vierstoffmischungen zugehören und über die sich auf Grund der bisher angegebenen Untersuchungen etwas aussagen läßt. Die erste Art ist darstellbar durch ein reguläres Tetraeder, die zweite durch ein dreiseitiges Prisma. Das erste System, das besonders behandelt werden soll, ist ein System von vier Oxyden, das zweite enthält zwei Säuren (Kieselsäure und Borsäure).

G. Das System Kalk—Magnesiumoxyd—Tonerde—Kieselsäure $\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$

Dieses System umfaßt die vier bekannten Grenzsysteeme, die im Carnegieinstitut in Washington eingehend untersucht worden sind:

- 1) $\text{CaO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$, 2) CaO—MgO—SiO_2 ,
- 3) $\text{MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ und 4) $\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3$.

In den früheren Fig. 12—14 sind drei dieser vier Grenzsysteeme dargestellt. Ein Teil des Systemes CaO—MgO—SiO_2 umfaßt, wie erwähnt, die Fig. 10. Das vierte Grenzsysteeme $\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3$ ist in den folgenden Figuren enthalten. Um das vollständige System $\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ im Tetraeder darzustellen, sind zunächst in den beiden Fig. 22 u. 23 die Grenzsysteeme noch einmal zu einem

Tafel der Komponenten im Vierstoffsystem CaO—MgO—Al₂O₃—SiO₂

1 Cristobalit	SiO ₂	12 Kalziumaluminat	CaO, Al ₂ O ₃
2 Kalk	CaO	13 Trikalziumpentaluminate	3CaO, 5Al ₂ O ₃
3 Korund	Al ₂ O ₃	14 Spinell	MgO, Al ₂ O ₃
4 Periklas	MgO	15 Klinoenstatit	2MgO, SiO ₂
5 Wollastonit	CaO, SiO ₂	16 Forsterit	CaO, Al ₂ O ₃ , 2SiO ₂
6 Trikalziumbisilikat	3CaO, 2SiO ₂	17 Anorthit	CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂
7 Kalziumorthosilikat	2CaO, SiO ₂	18 Gehlenit	2CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂
8 Trikalziumsilikat	3CaO, SiO ₂	19 Kalziummagnesiumsilikat	5CaO, 2MgO, 6SiO ₂
9 Mullit	3CaO, 2SiO ₂	20 Akermanit	2CaO, MgO, 2SiO ₂
(9a) Sillimanit	Al ₂ O ₃ , SiO ₂	21 Monticellit	CaO, MgO, SiO ₂
10 Trikalziumaluminat	3CaO, Al ₂ O ₃	22 Diopsid	CaO, MgO, 2SiO ₂
11 Pentakalziumtrialuminat	5CaO, 3Al ₂ O ₃	23 Cordierit	2MgO, 2Al ₂ O ₃ , 5SiO ₂

Fig. 22.

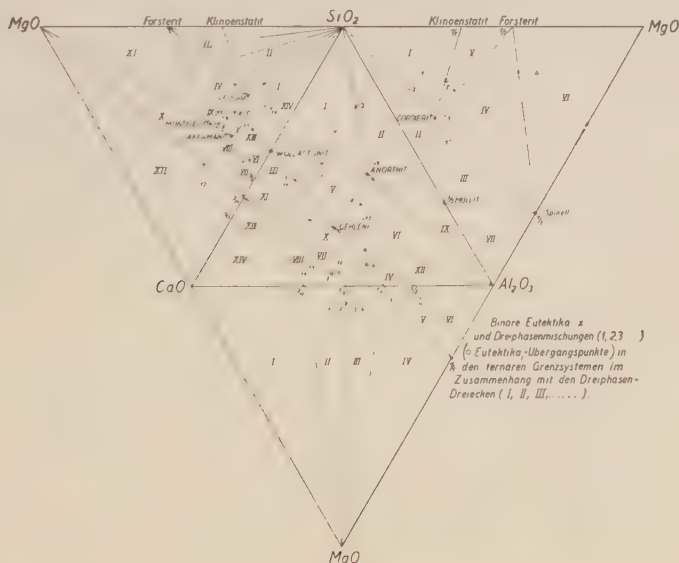


Fig. 23.

ebenen Netz des Tetraeders zusammengefaßt worden. In der Fig. 22 sind die Gebiete für die auftretenden Bodenkörper in den Dreiecken dargestellt (I, II ... XXIII) und die Verbindungen ihrer Lage nach angegeben (1, 2 ... 23). Die Fig. 23 enthält in gleicher Darstellung der Dreiecke, wie Fig. 22, die Zerlegung der vier Grenzsysteeme in kleinere Dreiecke. Diese stellen die Dreibodenkörpersysteme dar (I, II ...), in welche sich die vier Systeme zerlegen. Zu diesen Dreibodenkörperdreiecken gehören bei Gleichgewicht im Schmelzfluß bestimmte Schmelzen, welche mit gleichen Zahlenangaben bezeichnet sind (1, 2 ...). Man spricht zweckmäßig von Dreisalzpunkten, auch wenn der Begriff Salz nicht ganz richtig sein sollte. In der Figur sind diese Punkte verschieden gezeichnet worden. Die durch Kreise angegebenen Punkte stellen ternäre Eutektika, die übrigen Punkte Übergangspunkte dar. Die Geraden in den Dreiecken, welche zwei Punkte miteinander verbinden, sind stark ausgezogen, wenn sie sich auf chemische Verbindungen mit einem binären Eutektikum beziehen. Die übrigen Geraden, welche Gemische von Verbindungen zugehören ohne Eutektikum, sind gestrichelt gezeichnet. Jedes große Dreieck zerlegt sich auf diese Weise in kleinere Dreiecke, die durch stark ausgezogene oder gestrichelte Linien begrenzt sind. Berücksichtigt man nur die stark ausgezogenen Geraden, so ergeben sich durch Dreiecke oder Vierecke dargestellte Systeme, die vollständig losgelöst von den Dreieckssystemen, die durch die großen Dreiecke angegeben sind, betrachtet werden können. Alle Schmelzen, die innerhalb solcher Dreiecke oder Vierecke liegen, zeigen beim Erstarren einen solchen Kristallisationsverlauf, daß sie stets innerhalb dieses Gebietes bleiben. Für Systeme, die gestrichelte Grenzlinien in der Darstellung haben, ist dieses nicht der Fall. Eine Betrachtung der Figur zeigt im besonderen, daß das System Kalk, Tonerde, Kieselsäure in die größte Anzahl solcher Teilsysteme zerlegt werden kann. Auch das System Kalk, Magnesiumoxyd, Kieselsäure läßt sich in eine Anzahl Teilsysteme auflösen. In diesem Falle ist noch zu beachten, daß die beiden Gebiete II und III Mischungen enthalten, die nach dem Erstarren nicht aus drei Gefügebestandteilen, sondern nur aus zweien bestehen. Es sind das die Mischkristalle aus Klinoenstatit und Diopsid (Pyroxen) mit Kieselsäure (II) oder Forsterit (III). Eine Vereinfachung würde das System $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ erfahren, wenn die Verbindung $5\text{CaO} \cdot 2\text{MgO} \cdot 6\text{SiO}_2$ nicht als besondere Verbindung, sondern als Mischkristalle nach βMgSiO_3 , Pseudowollastonit betrachtet würde. Alsdann wären in der Figur die Punkte für Diopsid und Wollastonit nicht durch eine gebrochene Linie zu verbinden, sondern durch eine einfache Gerade. Die Gebiete I und XIV sowie V und XIII des Systemes $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ würden alsdann zu einem Gebiet mit je einem Eutektikum zusammenfließen. Das System Kalk-

Tonerde—Magnesiumoxyd ($\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3$) ist das einfachste der vier Grenzsysteeme. Es kann, wie die Figur zeigt, durch die Gerade $\text{MgO—5CaO·3Al}_2\text{O}_3$ in zwei Systeme zerlegt werden, die für sich betrachtet werden können. Das letzte der vier Grenzsysteeme endlich Tonerde—Magnesiumoxyd—Kieselsäure ($\text{Al}_2\text{O}_3—\text{MgO—SiO}_2$) zerlegt sich in zwei kleinere Systeme, die durch ein Dreieck und ein Viereck wiedergegeben und durch die Verbindungsgerade der Punkte für Forsterit—Spinell getrennt sind. Allerdings ist in diesem Falle auch noch eine andere stark ausgezogene Gerade in der Figur vorhanden, welche sich auf ein System mit binärem Eutektikum bezieht. Dadurch enthält das System drei ternäre eutektische Gemische und nicht zwei.

Will man aus diesen Figuren das Verhalten im Vierstoffsystem ableiten, so muß man diese vier Grenzflächen des Tetraeders zusammenlegen und untersuchen, welcher Art das Verhalten der Vierstoffmischungen im Innern des Tetraeders ist. Um quantitative Angaben machen zu können, müßte das Verhalten von Gemischen im Innern in möglichst großer Anzahl bekannt sein. Es liegen einige Untersuchungen vor, unter Benutzung derer es möglich ist, ein qualitativ richtiges Bild zu machen, das auch quantitativ einigermaßen stimmen wird. Wohl die wichtigste Feststellung in dieser Hinsicht ist die, daß die beiden Verbindungen (2CaO·MgO·2SiO_2) Äkermanit und ($2\text{CaO·Al}_2\text{O}_3·\text{SiO}_2$) Gehlenit vollständige Isomorphie aufweisen (vgl. Fig. 2), die, wie erwähnt, bekanntlich darauf beruht, daß die Baugruppen $\text{Al}^{+++}\text{Al}^{+++}$ und $\text{Si}^{++++}\text{Mg}^{++}$ sich im Raumgitter des Kristalles in jedem Verhältnis vertreten können. Außer dieser Feststellung ist von Bedeutung die genaue Untersuchung des Systemes ($\text{SiO}_2—2\text{MgO·SiO}_2—\text{CaO·Al}_2\text{O}_3·2\text{SiO}_2$) Kieselsäure—Forsterit—Anorthit, das in der Fig. 24 wiedergegeben ist. Diese zeigt die Lage der verschiedenen Verbindungen in dem Dreieck. Es bilden sich drei Dreisalzpunkte, von denen einer ein ternäres Eutektikum darstellt. Obwohl Forsterit und Anorthit gleichzeitig als Bodenkörper auftreten können, bilden sie doch kein binäres Eutektikum miteinander, sondern werden durch ein Gebiet für Spinell voneinander getrennt.

Es ist ferner bekannt, daß von Verbindungen, deren Gemische innerhalb des Tetraeders liegen, Diopsid und Anorthit ein Eutektikum miteinander bilden. Bekannt ist endlich noch, daß sich zwischen 2CaO·SiO_2 , $5\text{CaO·3Al}_2\text{O}_3$ und MgO ein ternäres Eutektikum ausbildet (HANSEN). Bei Benutzung dieser Untersuchungen über Gemische innerhalb des Tetraeders gelingt es, sich ein Modell von dem ganzen komplizierten Vierstoffsystem zu machen. Allerdings ist es wohl kaum möglich, ein solches zu konstruieren, ohne daß man eine wirklich körperliche Darstellung zu Hilfe nimmt. Das Modell wurde

denn auch aus den beiden angegebenen Fig. 22 u. 23 mit Drähten konstruiert und daraus die Zahlenwerte für die in folgender Tabelle angegebenen Gleichgewichte abgeleitet. Die Fig. 22 gibt die Tatsache wieder, daß sich Dreistoffsysteme bei Auftreten von Verbindungen der Komponenten in andere Dreistoffsysteme zerlegen lassen, die Teilsysteme sind. Das große Dreieck zerlegt sich in mehrere kleinere, die es zusammengekommen ausfüllen. Wenn keine Mischkristalle auftreten, gehört zu jedem Dreieck ein Punkt im Dreisalzpunkt, der die Schmelze angibt, die bei einer bestimmten Temperatur

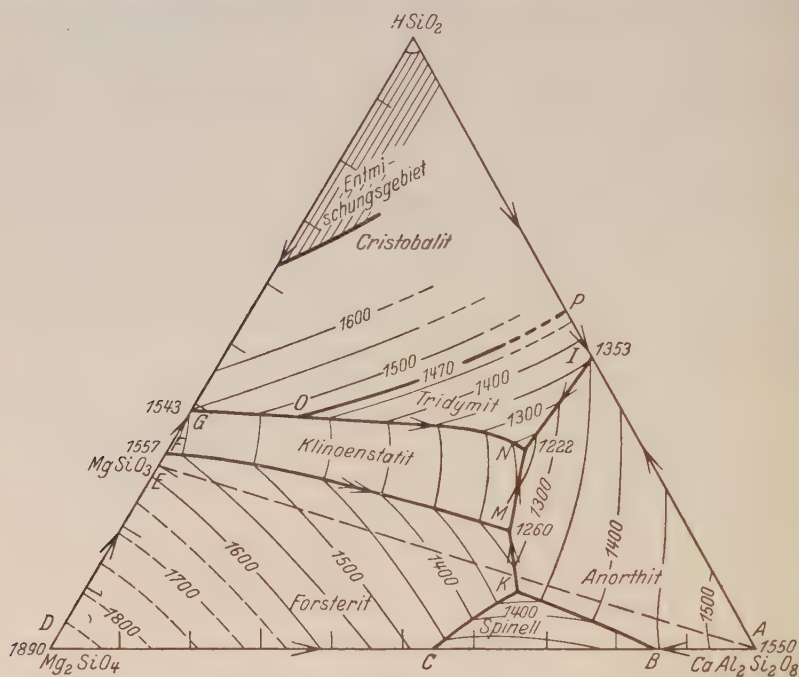


Fig. 24.

Forsterit—Anorthit—Kieselsäure.

mit den drei durch das zugehörige Dreieck angegebenen Verbindungen im Gleichgewicht ist. Liegt der Punkt innerhalb des Dreiecks, so stellt er ein ternäres Eutektikum dar, außerhalb einen Übergangspunkt. Mischkristalle geben zur Konstruktion von Dreiecken Veranlassung, ohne daß diesen ein Punkt zugehört. In gleicher Art bilden sich in der durch ein Tetraeder dargestellten Vierstoffmischung bei Vorhandensein von Verbindungen Gebiete heraus, die durch kleinere Tetraeder dargestellt werden und denen auch hier ein Punkt, ein Viersalzpunkt zugehört. Liegt dieser im Innern des zugehörigen Tetraeders, so stellt er ein quaternäres Eutektikum dar,

anderenfalls einen Übergangspunkt, der verschiedener Art sein kann, worauf hier aber nicht eingegangen werden soll. Es kann bei Auftreten von Mischkristallen auch zur Bildung kleinerer Tetraeder führen, denen kein Viersalzpunkt zugehört.

Wenn die vier Dreiecke der Fig. 22 zu einem räumlichen Tetraeder zusammengelegt werden, dessen Grenzflächen sie sind, so sind durch dasselbe eine Anzahl Verbindungsgeraden zu legen, um soviel kleinere Tetraeder zu bekommen, daß diese das große Tetraeder vollständig ausfüllen. Diese Geraden sind natürlich nicht willkürlich zu ziehen, sondern müssen den vorkommenden Gleichgewichten entsprechen. Die vorhandenen Mischkristalle in dem System führen zu bestimmten

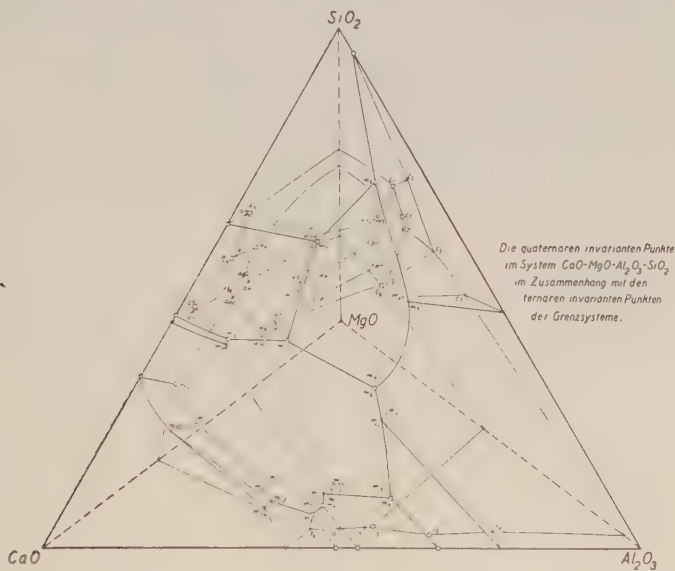


Fig. 25.

Tetraedern, die sich auf die Gleichgewichte mit drei statt vier Bodenkörper beziehen. Als Voraussetzung für die ganze Konstruktion gilt noch das Fehlen von Verbindungen mit allen vier Oxyden als Bestandteil.

Um die Konstruktion durchzuführen ist Fig. 23 heranzuziehen. Auch hier sind die vier Dreiecke zu den begrenzenden Dreiecken des Tetraeders zusammenzulegen. Die Dreisalzpunkte müssen sich als Kurven im Innern fortsetzen und stellen die Gleichgewichte mit den zugehörigen drei Bodenkörpern dar. Diese Dreisalzkurven verlaufen in das Innere soweit, bis sie beim Auftreten eines vierten Bodenkörpers in einem Punkte endigen. Von diesem müssen dann weitere drei Kurven ausgehen, welche sich jeweils auf andere drei Bodenkörper beziehen. Die Fig. 25 zeigt, wie der Verlauf der Drei-

bodenkörperkurven und die Lage der Vierbodenkörperkurven sich nach der Konstruktion ergibt. Wie die Tabelle III zeigt, ergeben sich 24 verschiedene quaternäre invariante Punkte, indem die Verbindung $5\text{CaO} \cdot 2\text{MgO} \cdot 6\text{SiO}_2$ nicht besonders berücksichtigt wurde. Die Lage der Punkte ergibt sich aus den ternären Punkten der Grenzsyste-
me, mit denen sie zusammenhängen. Hierbei können sich verschiedene Punkte von zwei verschiedenen ternären Punkten ableiten, wodurch ihre Lage im Innern des Tetraeders ziemliche Genauigkeit bekommt. Die Numerierung ist in der Reihenfolge gemacht, daß nacheinander berücksichtigt wurden die Punkte, die mit m bezeichnet

Nr.	Eu- tekti- kum Nr.	Bezeichnung in der Figur		Bodenkörper		Lage der invarianten Punkte im Modell Gew. %			
		ent- weder	oder	gemeinsam im zuge- hörigen ter- nären Grenz- system	die beiden dritten Boden- körper der ternären Ge- mische (wenn vorhanden**))	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1	—	m' ₁	a' ₁ d' ₁	*) I V	XVII P	5	22	13	60
2	—	m' ₂	c' ₂	*) I IX	XVII XXIII	6	10	21	63
3	1	m' ₄	s' ₅	*) XII XIII	M IV	5	36	51	8
4	2	m' ₅	a' ₅	*) V XVII	M P	9	27	14	50
5	3	m' ₆	—	III XVII	M XIV	6	26	36	32
6	4	m' ₇	s' ₄	*) XI XII	VII IV	7	44	42	7
7	5	m' ₈	s' ₂	*) X XI	VII IV	7	47	39	7
8	—	m' ₉	c' ₇	III IX	XVII XIV	9	13	32	46
9	—	m' ₁₀	—	VII XII	M XIV	7	43	41	9
10	—	m' ₁₂	s' ₆	*) III XIII	M XIV	4	31	41	24
11	—	m' ₁₃	—	VII VIII	X IV	9	52	31	8
12	—	m' ₁₄	s' ₁	*) II X	VIII IV	9	54	41	6
13	—	m' ₁₅	a' ₁₂	*) II VII	VIII IV	15	60	8	17
14	6	a' ₄	d' ₃	XVI M	P XVII	15	25	14	46
15	—	a' ₈	—	VII M	XXI XIV	18	35	12	35
16	—	a' ₉	—	XVI M	XXI XIV	18	30	12	40
17	7	a' ₁₀	—	VII M	XXI XIV	20	34	12	34
18	—	a' ₁₁	c' ₆	*) IV XIV	XXI XVI	23	29	12	36
19	8	c' ₁	d' ₁	*) I P	XXIII XVII	11	10	19	60
20	—	c' ₃	—	IX XIV	XXIII XVII	9	12	29	50
21	—	c' ₄	d' ₂	*) XIV XVI	XXIII XVII	15	12	23	50
22	—	c' ₅	d' ₃	*) P XVI	XXIII XVII	14	11	21	54
23	—	s' ₃	—	IV XII	XIV VII	6	45	41	8
24	9	p	d' ₂	M XVI	XVII XIV	17	23	16	44

M: Melilith, P: Pyroxen; wenn XIX eine Verbindung ist:

1	{ 1	m' ₁	a' ₁₄	*) I V	P XIX	und
		a' ₁	—	I XIX	P XVII	
4	{ 4	m' ₅	a' ₁₃	*) V XVII	M XIX	
		a' ₅	—	XIX M	XXII XVII	

sind (ternäre Systeme ohne Mg) und solche mit a bezeichnete (ternäre Systeme ohne Al), dann die mit s (ternäre Systeme ohne Si) und endlich die mit c bezeichneten (ternäres System ohne Ca). Ferner wurden für die Konstruktion noch benutzt die Dreisalzpunkte (d) des Teilsystemes im Innern des Tetraeders, das in Fig. 24 dargestellt ist. Nur ein einziger Viersalzpunkt p innerhalb des Tetraeders entspricht keinem Gleichgewichte, das unmittelbar mit einem ternären Grenzgleichgewicht dargestellt durch einen Dreisalzpunkt in Beziehung steht. Da Gehlenit (XVIII) und Äkermanit (XX) lückenlos Mischkristalle bilden, die Melilith genannt werden, sind m_3 und a_6 sowie m_{11} und a_7 unmittelbar durch Dreibodenkörperkurven verbunden, ohne daß sich hierbei ein Viersalzpunkt dazwischenschiebt. Die Kurve $m_3 a_6$ bezieht sich dadurch auf das Gleichgewicht von Schmelze neben den Salzen V und VI, Wollastonit und Trikalziumbisilikat und den Mischkristallen Melilith, die Kurve $m_{11} a_7$ auf die Salze VI und VII Trikalziumbisilikat und Kalziumorthosilikat neben Melilith. Von den 24 Punkten stellen, wie die Tabelle zeigt, neun quaternäre Eutektika dar. Wird die Verbindung $5\text{CaO} \cdot 2\text{MgO} \cdot 6\text{SiO}_2$ als besondere feste Phase behandelt, so gibt es 26 verschiedene Viersalzpunkte, was auch in der Tabelle angegeben ist. Von diesen Punkten hängen 14 gleichzeitig mit zwei Dreisalzpunkten der Grenzsysteme zusammen. Die Konstruktion des Modelles wurde hierdurch wesentlich erleichtert. Die Tabelle gibt die Zusammensetzung der 24 Mischungen an, die aus dem Modell zu entnehmen sind. Erklärlicherweise können die Werte nur annähernd richtig sein.

Auch über die Schmelztemperaturen läßt sich auf Grund der bekannten Systeme für die Gemische im Tetraeder etwas aussagen. Hierbei sind die Eutektika von besonderer Bedeutung. In den meisten Fällen ergeben sich aus den Eutektika der ternären Grenzsysteme auch hiermit zusammenhängende quaternäre Eutektika, dargestellt durch Punkte innerhalb des Tetraeders. Solche müssen sich ergeben, wenn die von dem Eutektikum nach zwei Grenzsystemen laufenden Dreisalzkurven dort in ternären Eutektika endigen. Da gerade die tiefsten Schmelzpunkte vielfach technische Bedeutung haben, sind quaternäre Eutektika von besonderer Bedeutung.

Für jede der vorkommenden Verbindungen ergibt sich jetzt ein bestimmter „Körper“ innerhalb des Tetraeders. Einige sind aus Fig. 25 sofort zu erkennen. In den Fig. 26—31 sind noch einige besonders wiedergegeben. Den größten Raum aller Verbindungen in dem Tetraeder umfaßt MgO, Periklas. In der Fig. 26 ist sein räumliches Gebiet für sich wiedergegeben. Die Figur zeigt, welche Bodenkörper neben dem Periklas gleichzeitig vorhanden sein können. Ein sehr großes Gebiet umfassen auch die Schmelzen, die gleichzeitig mit Spinell möglich sind. Für diesen ist im besonderen in Fig. 27 der

Schmelzkörper als Ausschnitt des Tetraeders gezeichnet. Er ist schmaler wie der für Periklas und nicht so groß, obwohl er in der

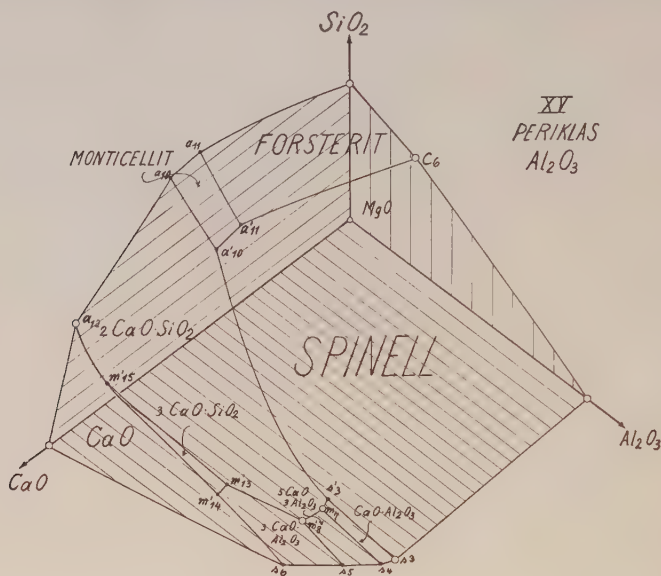


Fig. 26.

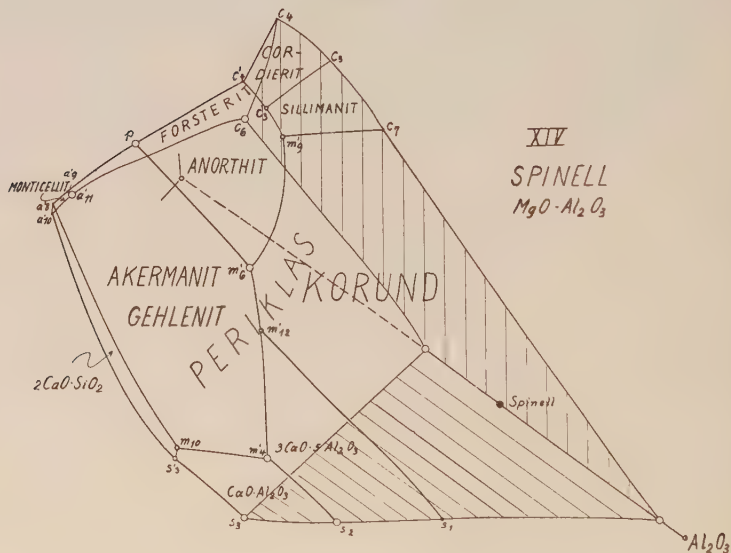


Fig. 27.

Figur größer wie für Periklas erscheint. Diese Fig. 27 zeigt, daß Spinell mit sehr viel verschiedenen Verbindungen gleichzeitig Bodenkörper sein kann. Die Fig. 28 u. 29 geben Körper wieder, die in

dem Tetraeder übereinander liegen. Fig. 28 gibt die Schmelzgebiete für Forsterit an und Fig. 29 für Pyroxen. Da Pyroxen ein Misch-

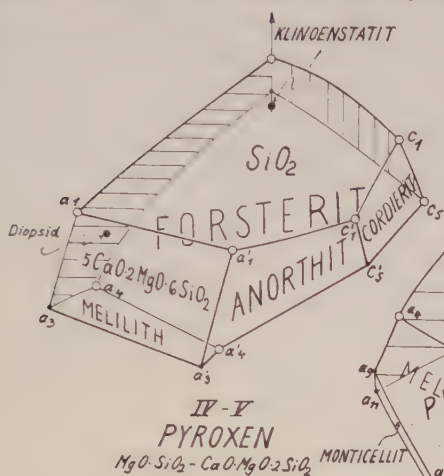


Fig. 29.

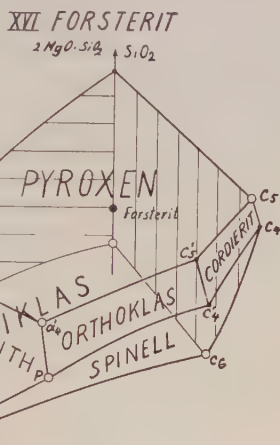


Fig. 28.

kristall ist, wechselt in den verschiedenen invarianten Mischungen seine Zusammensetzung. Für jede derselben hat sie einen speziellen Wert, der zwischen den beiden Verbindungen Klinkenstatit und Diopsid liegt, welche die Mischkristalle miteinander bilden. Hierbei ist noch zu beachten, daß auch Aluminium in die Mischkristalle, wobei Tonerdeaugit entsteht, eintreten kann. Es tritt hierbei die Baugruppe $Al^{+++}Al^{+++}$ an Stelle von $Ca^{++}Si^{++++}$ oder $Mg^{++}Si^{++++}$. Die

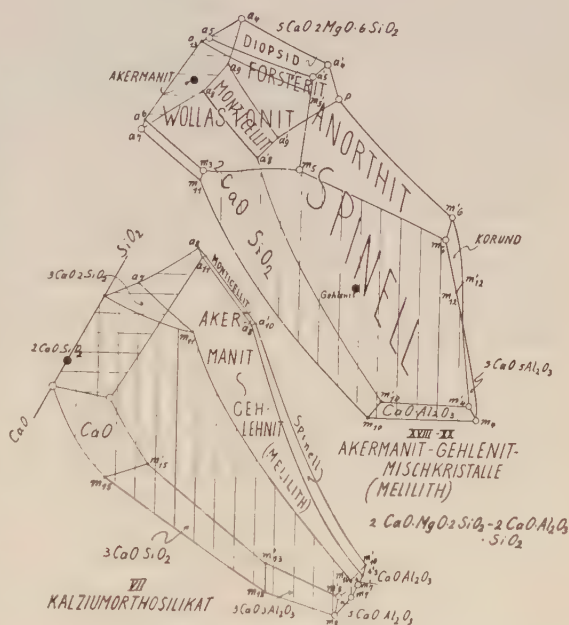


Fig. 30.

Fig. 31.

beiden Fig. 30 u. 31 geben ebenfalls zwei Körper wieder, die in dem Tetraeder übereinander liegen. Fig. 30 stellt das Schmelzgebiet für

Kalziumorthosilikat dar und Fig. 31 das für die Mischkristalle aus Åkermanit und Gehlenit, die wie bekannt unter dem Namen Melilith zusammengefaßt werden. In den invarianten Viersalzpunkten ist jedesmal ein ganz bestimmter Mischkristall einer der vier Bodenkörper, die im Gleichgewicht mit der Schmelze sind. Für die dazwischenliegenden Gebiete, die durch Kurven dargestellten Dreisalzkurven, ändert sich der Mischkristall kontinuierlich. In dieser Art wird das ganze Gebiet der Mischkristalle von dem tonerdefreien Åkermanit bis zum magnesiumoxydfreien Gehlenit durchlaufen. Es gibt also eine Anzahl Mischkristalle konstanter Zusammensetzung, die für die invarianten Mischungen gelten. Betrachtet man z. B. den Kurvenzug $a_4 a'_4 p m'_6 m'_{12} m'_4 m_4$, so ist in a_4 Åkermanit einer der drei Bodenkörper; die beiden anderen Bodenkörper sind Diopsid und Forsterit, bis zum Gemisch a'_4 ändert sich der Bodenkörper bis zu einem bestimmten Mischkristall mit Gehlenit, der jetzt vierter Bodenkörper für die Mischung a'_4 ist. Anorthit ist als Bodenkörper hinzugekommen. Auf der dann folgenden Linie bis p ändert sich der Mischkristallbodenkörper jetzt weiter unter Aufnahme von mehr Gehlenit. Von hier findet auf $p m'_6$ wieder eine kontinuierliche Änderung der Zusammensetzung des Meliliths bis m'_6 statt. Diopsid ist als Bodenkörper verschwunden. Die jetzt erhaltene Zusammensetzung des Mischkristalls, die für das Gleichgewicht in m'_6 gilt, verschiebt sich wieder kontinuierlich bis zu einem bestimmten Wert für die Mischung m'_{12} . Dann noch einmal kontinuierlich bis m'_4 und von hier endlich bis zum Punkte m_4 , wo die Zusammensetzung des Gehlenits ohne Magnesiumoxydgehalt erreicht ist. In jedem Viersalzpunkt tritt beim Durchlaufen des Kurvenganges eine neue Verbindung als Bodenkörper auf. Auch auf anderen Kurvenzügen findet eine ähnliche Änderung der Bodenkörper statt. Sämtliche Dreisalzkurven des „Melilithkörpers“ beziehen sich also auf Mischkristalle zwischen Åkermanit und Gehlenit und auf ihnen ändert dieser Bodenkörper seine Zusammensetzung kontinuierlich. Es führt dieses für das große Tetraeder zur Bildung kleinerer, innerhalb denen nicht vier, sondern drei Bodenkörper auftreten.

Das System, das sich aus den vier Stoffen Kalk, Magnesiumoxyd, Tonerde, Kieselsäure aufbaut und das in der angegebenen Art durch ein Tetraeder wiedergegeben wird, hat wie bekannt, erhebliche technische Bedeutung. Es umfaßt die wichtigen Gemische des Zementes und die der Schlacken bei metallurgischen Prozessen. Beim Zement spielt offenbar noch, wie kurz erwähnt, ein Mischkristall von Kalziumorthosilikat eine Rolle. Es gibt auch noch gewisse Besonderheiten, die durch die Bildung mehrerer Modifikationen verschiedener Verbindungen bedingt sind und nicht berücksichtigt wurden, doch soll hierauf nicht weiter eingegangen werden. Es ist dieses um so

weniger nötig, als für eine quantitativ richtige Darstellung noch sehr viele Versuche nötig sind.

Wie die Fig. 32 zeigt ¹⁾, ist bereits früher einmal versucht worden, ein räumliches Bild des angegebenen Vierstoffsystems zu geben. Das Modell ist jedoch nicht richtig. Die Verfasser haben geglaubt, das große Tetraeder einfach in kleinere zerlegen zu können, denen jedesmal ein quaternärer eutektischer Punkt zugehörte. Sie kommen dadurch auf grundsätzliche Widersprüche. Die Figur zeigt z. B., daß

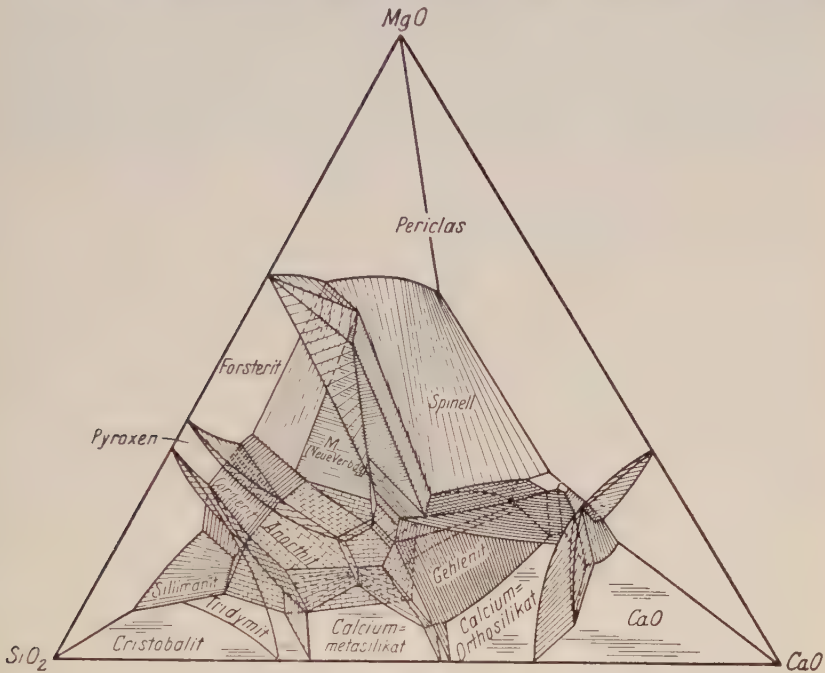


Fig. 32.

sich im Innern des Tetraeders Punkte ausbilden, von denen aus drei oder auch fünf Linien ausgehen, während es in jeden Falle vier sein müssen. Ein weiteres Eingehen auf diese Darstellung ist überflüssig.

H. Turmalin

Turmalin ist ein Mineral, das zwei Säuren, Borsäure und Kieselsäure und mehrere Metalle enthält. Beschränkt man sich auf drei Metalle, so ist man in der Lage, die Zusammensetzung des Turmalins durch ein dreiseitiges Prisma zum Ausdruck zu bringen. Das obere

¹⁾ McCaffery u. Oesterle, Amer. Iron a. Steel Inst. Hampton, N. Y., 24. X. 1924.

Dreieck des Prismas enthält die Mischungen der drei verschiedenen Borate, das untere der Silikate. Bei der Darstellung muß man mit Molekülverhältnissen rechnen. Vor einigen Jahren hat BOEKE eine Arbeit über Turmalin veröffentlicht (N. Jahrb. f. Min. 1916, S. 109 bis 148). Er hat eine statistische Darstellung der Zusammensetzung gegeben in Molprozenten, derart, daß die Werte von Silizium und Bor hineingerechnet werden. Trennt man aber die Säuren, Kieselsäure und Borsäure von den Metallen, so kann man eine Darstellung erhalten, die erheblich übersichtlicher ist. In der Fig. 33 sind die nach den Tabellen von BOEKE umgerechneten Zahlenwerte derart dargestellt, daß die Molekülsumme von $(\text{H}_2\text{O} + \text{R}_2\text{O})$, RO und R_2O_3 Hundert ist. Aus dieser Figur läßt sich ablesen, daß die eine Gruppe von Analysen sich um den Punkt α gruppiert, der einem Molekül-

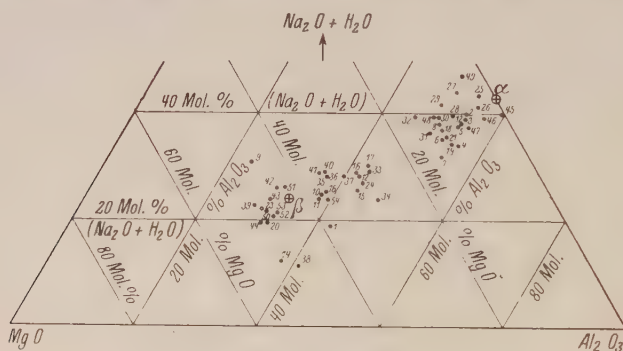


Fig. 33.

Analysenzusammensetzung des Turmalin berechnet für $\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}) = 100$ Mole.

verhältnis entspricht von $6(\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}) : 8\text{Al}_2\text{O}_3$. Nimmt man das Verhältnis von Kieselsäure zu Borsäureanhydrid $12 : 3$ hinzu, wie es beobachtet wurde, so entspricht der Punkt α einer Formel $6(\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}) : 8\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{SiO}_2 \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3$. Diese Formel läßt sich umrechnen in $\text{Al}_4\text{B}_6\text{O}_{15} \cdot 12\text{NaAlSiO}_4$, wenn für H auch Na geschrieben wird. Ersetzt man in dieser die Gruppe $\text{Na}^+\text{Al}^{+++}$ teilweise durch $\text{Mg}^{++}\text{Mg}^{++}$, so läßt sich eine Mischung finden der Formel $4\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{MgO} \cdot 12\text{SiO}_2 \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3$. Diese wird durch den Punkt β in der Figur dargestellt. Nach den in der Figur vermerkten Analogien für Turmalin verschiedener Herkunft bilden sich zwei Reihen Mischkristalle, magnesiumarme und magnesiumreiche, die durch eine Mischungslücke voneinander getrennt sind. Für β läßt sich die Formel schreiben $\text{Al}_4\text{B}_6\text{O}_{15} \cdot (\text{NaAlMg})_6(\text{SiO}_2)_{12}$. Mit Hilfe der gefundenen Formeln läßt sich jetzt, wie Fig. 34 zeigt, ein dreiseitiges Prisma konstruieren, das oben die borsäuren und unten die kiesel-

sauren Salze enthält. Die borsäuren Salze führen in diesem Falle zu einer Borsäure der Formel $H_4B_2O_5$, die Silikate sind die Orthoverbindungen. Daß es keine Orthoverbindung des Aluminiumsalzes als solche gibt, ist hierbei ohne Bedeutung. Die beiden Verbindungen α und β liegen in der Figur in den gezeichneten Punkten. Der magnesiumfreie Turmalin α ergibt sich als Schnittpunkt der Punkte, die den Verbindungen $Al_4B_6O_{13} - NaAlSiO_4$ mit $Na_4B_2O_5 - Al_4(SiO_4)_3$ entsprechen.

Das dreiseitige Prisma der Fig. 34 könnte für die Darstellung von Untersuchungen im Schmelzfluß benutzt werden. Allerdings ist die Darstellung unter Vernachlässigung des Wasserstoffs gemacht, der mit dem Natrium zusammen gerechnet wurde und bekanntlich beim Turmalin ein wichtiger Bestandteil ist. Es erscheint möglich auch diesen in die Darstellung einzubeziehen. Diese Darstellung in einem einfachen dreiseitigen Prisma gibt sicherlich mehr als die von BOECKE gewählte Darstellungsart.

Jedesmal, wenn in Mineralien zwei verschiedene Säuren neben mehreren Metallen auftreten, ist es zweckmäßig, eine Trennung der Säuren und Metalle in der angegebenen Darstellung durch ein dreiseitiges Prisma zu benutzen.

Die vorstehende Darstellung der Gleichgewichte mineralischer Stoffe im Schmelzfluß gibt nur eine Auswahl an. Sie zeigt aber, welche Bedeutung phasentheoretischen Untersuchungen auch in der Mineralogie zukommt.

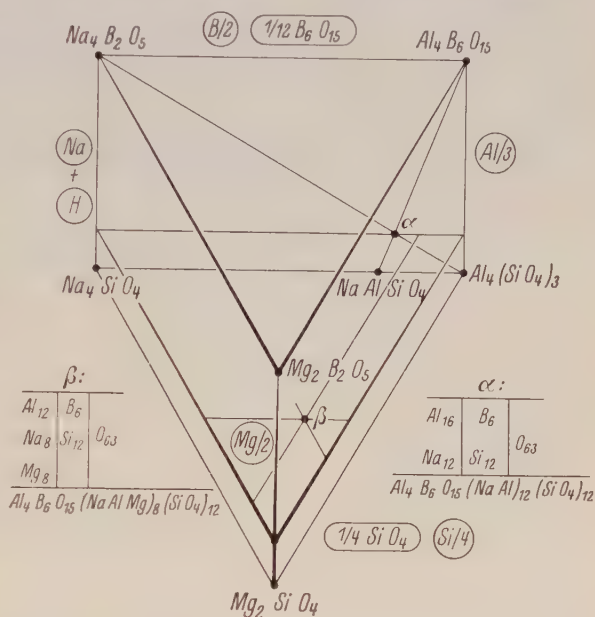


Fig. 34.

2. Petrographie und Geochemie

Grundlagen der quantitativen Geochemie

Von

V. M. Goldschmidt,

Göttingen

Mit 3 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	112
II. Die Atmosphäre	114
III. Die Hydrosphäre	116
IV. Durchschnittliche Zusammensetzung der Eruptivgesteine	122
V. Die Mengen seltener Elemente in den Eruptivgesteinen	126
VI. Berechnung der Sedimentmengen	128
VII. Der Kreislauf des Kohlenstoffs	136
VIII. Der Kreislauf des Jods	144
IX. Geochemische Bilanz für einige Elemente	147
X. Schriftenverzeichnis	152

I. Einleitung

Der erste Forscher, welcher das Arbeitsgebiet der Geochemie als besonderen Zweig der Forschung erkannte und abgegrenzt hat, war CHR. F. SCHÖNBEIN (80). Er schrieb 1838:

„Wir müssen mit größter Genauigkeit die Eigenschaften jedes einzelnen geognostischen Gebildes kennen lernen; wir müssen die Beziehungen, in welchen diese Erzeugnisse hinsichtlich ihrer chemischen Natur, physikalischen Beschaffenheit und chronologischen Aufeinanderfolge zu einander stehen, so scharf genau als nur immer möglich ausmitteln, und zu gleicher Zeit die Producte, welche durch die, heutigen Tages noch chemisch wirk-

samen, Kräfte hervorgebracht werden, mit den unorganischen Körpern der Urwelt sorgsamst vergleichen. Es muß mit einem Worte erst eine vergleichende Geochemie geschaffen werden, ehe die Geognosie zur Geologie werden, und ehe das Geheimniß der Genesis unseres Planeten und der ihn constituierenden unorganischen Massen enthüllt werden kann“¹⁾.

Der systematische Aufbau einer geochemischen Wissenschaft wurde dann vor allem durch die klassischen Werke von K. G. BISCHOF (5) und JUSTUS ROTH (73) verwirklicht.

Es ist die erste Aufgabe der Geochemie, einerseits die chemische Zusammensetzung des Erdballs und der Teilmassen des Erdballes quantitativ festzustellen, andererseits die Gesetze zu finden, welche die Verteilungsweise der einzelnen Elemente bestimmen. Zur Lösung dieser Fragen bedarf die Geochemie eines umfassenden Materials an Analysen irdischen Materials, wie Analysen der Gesteine, der Gewässer und der Atmosphäre, ferner benötigt die Geochemie Analysen von Meteoritenmaterial, astrophysikalische Daten über die Zusammensetzung anderer Himmelskörper, sowie geophysikalische Daten über die Phasenverteilung im Inneren der Erde. Weiterhin sind wichtige geochemische Erkenntnisse durch Untersuchungen an synthetisch dargestellten Stoffsystemen gewonnen worden, es sei hier nur an die Erfahrungen auf Grundlage metallurgischer Verfahren hingewiesen.

Die zweite wichtige Aufgabe der geochemischen Forschung besteht in der Aufstellung quantitativer Stoffbilanzen für die geochemischen Vorgänge, insbesondere für den großen Kreislauf der Massen bei den Vorgängen der Verwitterung, Erosion und Sedimentation. Während der erstgenannte Aufgabenkreis in manchen Fällen Vorstellungen und Annahmen über das uns unzugängliche Innere des Erdballs erfordert oder zur Folge hat, kann die Stoffbilanz des äußeren geochemischen Kreislaufes grundsätzlich auf Untersuchungen an zugänglichen Stoffmassen aufgebaut werden.

Die Aufgaben einer quantitativen Geochemie, welche heute bereits gelöst werden können, beziehen sich vor allem auf Untersuchungen der Stoffbilanz des äußeren Kreislaufs. Es gibt bereits eine Reihe von Untersuchungen, welche sich mit Teilgebieten dieser Stoffbilanz befassen. Vor allem hat man schon frühzeitig den Kreislauf des Kohlenstoffs zahlenmäßig zu erfassen gesucht. Es sei an Arbeiten von TH. SCHLOESING (77), A. G. HÖGBOM (44), A. KROGH (50, 51), SV. ARRHENIUS (1) erinnert. Den geochemischen Erscheinungen des äußeren Kreislaufs, unter besonderer Berücksichtigung auch der biochemischen Vorgänge, hat in neuerer Zeit vor allem W. VERNADSKY (86)

¹⁾ Auf diese Abhandlung von SCHÖNBEIN hat O. H. ERDMANNSDÖRFFER 1931 in seiner Heidelberger Rektoratsrede „Mineralogie einst und jetzt“ hingewiesen.

wichtige Untersuchungen und zusammenfassende Darstellungen gewidmet.

Im folgenden soll ein Teil der zahlenmäßigen Grundlagen einer quantitativen Geochemie zusammengestellt werden ¹⁾, und sodann soll die quantitative Erfassung geochemischer Vorgänge an einigen Beispielen erörtert werden.

Wir behandeln zuerst die chemische Zusammensetzung und die Quantität der am äußeren Kreislaufe beteiligten Stoffmassen, soweit diese Daten bereits erfaßt werden können. Seit den klassischen Zusammenstellungen von FR. W. CLARKE (13) ist so viel neues Tatsachenmaterial erbracht worden, daß eine solche Zusammenfassung unseres Wissens heute angebracht sein dürfte. Die Zusammenstellung macht keinen Anspruch auf Vollständigkeit; es ist vor allem versucht worden, nur die zuverlässigsten Zahlen zu bringen und auf die Wiedergabe unsicherer Daten zu verzichten.

Den Herren Kollegen W. MEINARDUS und H. KIENLE in Göttingen bin ich für wichtige Literaturhinweise zu ganz besonderem Danke verpflichtet.

II. Die Atmosphäre

Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre wird durch folgende Tabelle dargestellt. Hierbei ist der Gehalt an Wasserdampf nicht mit berücksichtigt; dieser schwankt in den tieferen Teilen der Atmosphäre zwischen etwa 0,02 und 2 Gewichtsprozenten.

Die Gehalte der Atmosphäre an den seltenen Edelgasen entnehmen wir der Monographie von E. RABINOWITSCH (72), vor allem nach neueren Bestimmungen von H. E. WATSON, CH. MOUREU und A. LEPAPE.

Zusammensetzung der Atmosphäre, nach Abzug von Wasserdampf

	Gewichtsprocente	Volumprocente
O ₂	23,01	20,93
N ₂	75,51	78,10
Ar	1,286	0,9325
CO ₂	0,04	0,03
Ne	0,0012	0,0018
He	0,00007	0,0005
Kr	0,0003	0,0001
X	0,00004	0,000009

Ein Gehalt an freiem Wasserstoff ist in der Atmosphäre noch nicht mit völliger Sicherheit nachgewiesen. Falls freier Wasserstoff vorhanden ist, beträgt seine Menge jedenfalls weniger als 0,0001 Volumprocente. In den höheren Schichten der Atmosphäre ist neben dem

¹⁾ Wir verzichten hierbei vorläufig auf eine zusammenfassende Darstellung der Analyseergebnisse an Meteoriten; eine solche Zusammenstellung soll in einem späteren Aufsatz gebracht werden.

gewöhnlichen Sauerstoff, O_2 , auch Ozon, O_3 , vorhanden. In den Atmosphären der großen Planeten treten starke Absorptionsbanden auf, welche nach Untersuchungen von R. WILDT (91, 92) dem Ammoniak und dem Methan angehören.

Der Jodgehalt der irdischen Atmosphäre wird in einem späteren Abschnitt ausführlich erörtert werden.

Es ist oft angenommen worden, daß in den höchsten Teilen der Atmosphäre, in der Region des Nordlichtes, etwa von 80 km Höhe aufwärts eine starke Anreicherung der leichten Gase Wasserstoff und Helium stattfinden müßte. Indessen hat das Studium des Nordlichtspektrums bisher nur Spektrallinien des Sauerstoffs und des Stickstoffs ergeben, also Linien jener beiden Gase, welche auch in den tieferen Teilen der Atmosphäre als Hauptbestandteile auftreten.

Zur Berechnung des durchschnittlichen Gewichts der Atmosphäre benötigen wir die Kenntnis der durchschnittlichen Meereshöhe der Erdoberfläche. Wir entnehmen die Daten einer Abhandlung von E. KOSSINNA (49).

Areale der Höhenstufen (Mill. km^2), Volumen (1000 km^3) und mittlere Höhe (m) der Kontinente¹⁾ (nach E. KOSSINNA, 1931)

Kontinent	unter 0 m	0—200	200— 500	500— 1000	1000— 2000	2000— 3000	3000— 4000	4000— 5000	über 5000	Ge- sam- fläche	Volumen	Mitt- lere Höhe
Europa	0,2	5,4	2,1	1,5	0,5	0,2	0,0	0,0	—	9,9	3 360	340
Asien	0,5	10,4	9,4	10,5	8,0	2,3	0,9	1,8	0,5	44,3	42 520	960
Afrika	—	2,9	11,6	8,4	5,8	0,8	0,3	0,0	0,0	29,8	22 400	750
Australien	} 0,1	3,5	3,7	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	3 040	340
Nordamerika		7,2	7,4	2,9	4,0	2,2	0,4	0,0	0,0	24,1	17 320	720
Südamerika		6,8	5,3	3,4	1,0	0,4	0,5	0,4	0,0	17,8	10 550	590
Antarktika	—	0,9	0,4	0,7	3,1	5,3	3,7	0,0	—	14,1	31 100	2200
Land	0,8	37,0 ¹⁾	39,9	28,9	22,6	11,2	5,8	2,2	0,5	148,9	130 290	875

Das Gewicht der Atmosphäre, bezogen auf das Meeresniveau, ist gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe. Dies entspricht einem Gewicht von 1,033 kg per cm^2 . Berechnen wir aber den Durchschnittswert des Gewichtes der Erdatmosphäre, bezogen etwa auf einen cm^2 der gesamten Erdoberfläche, so müssen wir in Betracht ziehen, daß die untere Grenze der Atmosphäre im Durchschnitt nicht im Meeresniveau liegt, sondern höher, entsprechend dem Mittelwert der Höhen von Meer und Kontinenten. Die durchschnittliche

¹⁾ Da die Areale der Depressionsgebiete von Afrika, Australien und Nordamerika infolge ihrer Kleinheit und der Abrundung auf 0,1 Mill. km^2 auch in den Zahlen der Stufe 0—200 m enthalten sind, wurde ein entsprechender Betrag von der Gesamtfläche dieser Stufe für das ganze Land (37,1 Mill. km^2) abgezogen. Der Ausdruck 0,0 bedeutet, daß die betreffende Höhenstufe wohl vorhanden, aber zu klein ist, um in Zehntel Mill. km^2 ausgedrückt zu werden.

Höhe der Kontinente beträgt 875 m, der Anteil der Kontinente an der gesamten Erdoberfläche (510,0 Mill. km²) beträgt 29,2 %, dementsprechend liegt die untere Grenze der Atmosphäre durchschnittlich bei 256 m Meereshöhe, entsprechend einem Drucke von 738 mm und einem Gewicht der Atmosphäre von fast genau 1 kg per cm², nämlich 1,003 kg; hiervon sind etwa 0,003 kg Wasserdampf, so daß die „trockene“ Atmosphäre 1,000 kg per cm² beträgt.

Dementsprechend entfallen auf jeden cm² der Erdoberfläche folgende Mengen der geochemisch wichtigsten Bestandteile der Atmosphäre

230	g Sauerstoff,
755	„ Stickstoff,
0,4	„ Kohlendioxyd.

III. Die Hydrosphäre

Für quantitative geochemische Berechnungen ist es erforderlich, das Volum des Weltmeeres zu kennen. Weiterhin ist es erwünscht, neben der Fläche der Kontinente und Inseln auch noch die Fläche jener seichten Meeresgebiete zu kennen, welche den sogenannten Kontinentalschelf oder Kontinentalsockel darstellt; auf diesem Kontinentalschelf kommt nämlich die Hauptmasse der Sedimente zur Ablagerung. Neben dem Kontinentalschelf kann auch noch der Kontinentalabhang gesondert in Rechnung gezogen werden, der den Schelf mit dem eigentlichen Tiefseeboden verknüpft. Die folgenden Zahlen stammen aus einer Abhandlung von E. KOSSINNA (48).

Bei der Berechnung von KOSSINNA wurden die gesamten Meeresgebiete in einzelne sphärische Trapeze zerlegt, begrenzt von Längengraden und Breitengraden mit je 5° Abstand; für die einzelnen Trapeze wurden die Anteile der verschiedenen Tiefenstufen, nach Maßgabe der verfügbaren Daten, berechnet, und zunächst in Zonen von je 5° Breite zusammengezählt. Durch Summation der Fünfgradzonen

Areal und mittlere Tiefe der natürlichen Regionen des Meeresbodens
(nach E. KOSSINNA, 1921)

Region	Areal	Mittlere Tiefe
Kontinentalschelf (0—200 m)	27,5 Millionen km ²	50 (?) m
Kontinentalabhang (200—2440 m)	38,7 „ „	1270 „
Tiefseeboden (2440—5750 m)	283,7 „ „	4420 „
Tiefseegesenke (unter 5750 m)	11,2 „ „	6100 „
Weltmeer	361,1 Millionen km ²	3800 m

Die genauen Zahlen für das Weltmeer sind: Areal 361 059 200 km²

Volum 1 369 113 000 km³

(erhalten durch Summation der Fünfgradzonen)

Mittlere Tiefe 3792 m.

wurde dann für das gesamte Meeresgebiet der Erde der Anteil der verschiedenen Tiefenstufen errechnet.

Die Süßwassermengen der Erde sind in einem Vortrage von W. MEINARDUS (62) über den Kreislauf des Wassers zusammenfassend behandelt worden. Zu den Wassermengen des Weltmeeres wären zuerst noch die Binnenseen hinzuzuzählen mit insgesamt etwa 250 000 km³ Wasser, sowie die Flüsse und das Grundwasser, die zusammen etwa ebenfalls 250 000 km³ umfassen. Dazu kämen die Eismassen der Kontinente, vor allem die Antarktis und Grönland, mit insgesamt etwa 23 000 000 km³. In der Atmosphäre sind insgesamt etwa 13 000 km³ Wasser in Form von Dampf enthalten. Fassen wir die gesamten Süßwassermengen der Erde zusammen, so erhalten wir 23—24 000 000 km³, also eine Menge, die nur etwa 2 ‰ der Menge des Meerwassers darstellt. Wir können also unbedenklich die chemische Zusammensetzung des Meerwassers als kennzeichnend für die gesamte Hydrosphäre betrachten.

Das bisher vorhandene Tatsachenmaterial über die chemische Zusammensetzung des Meerwassers ist fast lückenlos in der Zusammenfassung von T. G. THOMPSON und R. J. ROBINSON (84) dargestellt worden. Bekanntlich wird der Salzgehalt des Meerwassers gewöhnlich nach Maßgabe des Gehaltes an Chlor definiert: der Chlorgehalt, ausgedrückt in Promille des Meerwassers, wird als Chlorinität des Meerwassers bezeichnet. Im allgemeinen ist die Zusammensetzung der Meeressalze weitgehend unabhängig von dem Grad der Chlorinität, nur der Verdünnungsgrad der Salze wechselt, je nachdem, ob die betreffenden Meeresgebiete besonders reichlichen Zustrom von Süßwasser aufweisen (Flüsse, Gletschereis, Regen) oder ob eine besonders starke Verdunstung stattfindet. Es ist beispielsweise das Mengenverhältnis zwischen Chlor, Natrium, Kalium und Magnesium im Meerwasser weitgehend konstant. Andere gelöste Bestandteile des Meerwassers sind in wechselnder Menge vorhanden, je nach den physikalischen und biologischen örtlichen Bedingungen, die wiederum auch von den Jahreszeiten abhängig sind. Dies gilt vor allem für den Gehalt an Kohlenstoff (in Form des CO₃-Ions und freier Kohlensäure) für freien, gelösten Sauerstoff, für chemisch gebundenen Stickstoff, für Phosphor und für Kieselsäure, sowie für das Eisen. Die Schwankungen des Calciumgehaltes sind besonders von H. WATTENBERG (88, 89) studiert worden und geben uns wichtiges Material zum Verständnis des Calciumhaushaltes des Meerwassers¹⁾. In der folgenden Tabelle sind nach

¹⁾ Zufügung während der Korrektur: Soeben erschien die ausführliche Veröffentlichung der Ergebnisse von H. WATTENBERG, ein Beitrag von größter Bedeutung zur Geochemie der Hydrosphäre, als Band VIII der Wissenschaftlichen Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff Meteor 1925—1927, Calciumkarbonat- und Kohlensäuregehalt des Meerwassers, Berlin und Leipzig 1933.

Maßgabe unserer heutigen Kenntnis für die wichtigsten Bestandteile des Meerwassers die prozentischen Mengen angegeben, derart, daß der Sauerstoffgehalt und Wasserstoffgehalt des Wassers selbst auch in diesen Prozentzahlen zum Ausdruck gebracht wird. Außer dem Zahlenmaterial in der obengenannten Zusammenfassung von THOMPSON und ROBINSON sind für Bor und die seltenen Alkalimetalle noch die Ergebnisse von Untersuchungen (32, 34) aus dem Göttinger Mineralogischen Institute mitgeteilt, für Gold und Silber die Durchschnittszahlen aus den bekannten Untersuchungen von F. HABER und Mitarbeitern (38, 39).

Zusammensetzung des Meerwassers

	%		%
O	85,89	Si	0,0001
H	10,80	F	0,0001
Cl	1,93	Rb	0,000 02
Na	1,07	Li	0,000 007
Mg	0,130	Zn	0,000 007
S	0,088	P	0,000 006
Ca	0,042	J	0,000 005
K	0,037	As	0,000 002
Br	0,0066	Cu	0,000 001
C	0,002	Cs	0,000 000 2
Sr	0,001	Ag	0,000 000 03
B	0,001	Au	0,000 000 001

Um die Abhängigkeit des Salzgehaltes des Meerwassers von dem Verhältnis zwischen Niederschlagsmenge und Verdunstung darzutun,

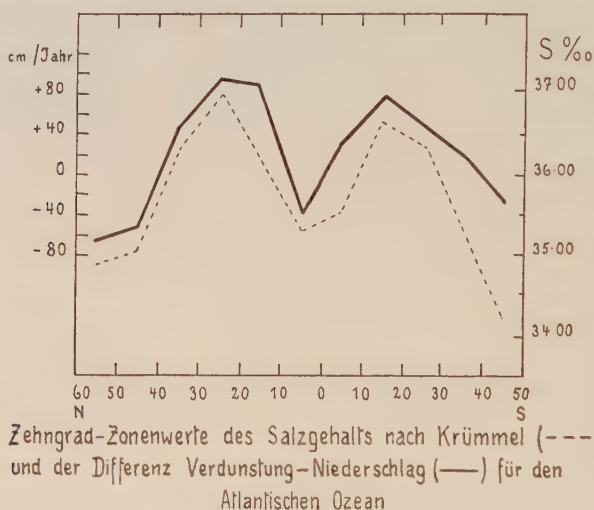


Fig. 1.

bringen wir eine Abbildung nach G. Wüst (94), welche die Beziehung zwischen Salzkonzentration und Verdunstungs-gleichgewicht für den

Atlantischen Ozean darstellt. Die Salzkonzentration S ist auf der Figur 1 in Promille angegeben, die Differenz zwischen Verdunstung und Niederschlag in cm Wasserhöhe je Jahr, und zwar sind die Werte für Zehugradzonen angegeben. Man erkennt, daß der Salzgehalt in der gleichen Weise von der geographischen Breite abhängig ist, wie die Differenz zwischen Verdunstung und Niederschlagsmenge.

Als Beispiel für solche Bestandteile des Meerwassers, deren Konzentration weitgehend durch biochemische Vorgänge geregelt wird, bringen wir die Gehalte an Phosphorsäure und an Nitraten im Meerwasser als Funktion der Tiefe, nach H. THOMSEN (97). Wie man sieht, verarmt das Oberflächenwasser durch die Lebenstätigkeit der Organismen an den Pflanzennährstoffen Phosphat und Nitrat. In Tiefenwasser werden beide Nährstoffe angereichert, durch das Absinken von Organismenresten. Man beachte auch den kennzeichnenden Unterschied zwischen den großen Weltmeeren und dem abgeschlossenen Mittelländischen Meer, in welchem letzterem die Menge der Nährstoffe eine sehr viel geringere ist.

Der Gehalt an Eisen im Meerwasser beträgt, nach einer vor kurzem erschienenen Veröffentlichung von THOMPSON und Mitarbeitern (85), bis zu $0,00003\text{ }^0_0$; durch die Planktonflora kann das Eisen im Oberflächenwasser fast restlos verbraucht werden.

Über die durchschnittliche Zusammensetzung der Flußwässer sind wir noch recht unvollständig unterrichtet. Eine wichtige Veröffent-

Phosphatgehalt des Meerwassers, berechnet als Milligramme P_2O_5 per m^3 Meerwasser

Tiefe m	Mittelländ. Meer		Atlant. Ozean		Indischer Ozean		Pazifischer Ozean	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
0	0	5	0	15	0	5	0	50
10	0	0	0	10	0	5	0	60
25	0	0	0	10	0	15	0	70
50	0	15	0	20	0	15	0	70
75	0	10	0	70	5	70	0	80
100	0	15	0	80	15	85	0	90
150	0	20	15	90	25	125	0	100
200	0	25	20	100	30	125	0	125
300	0	25	35	130	50	150	20	160
400	0	25	40	135	50	150	50	160
500	0	30	50	150	50	160	80	160
600	0	30	30	150	50	175	90	160
800	5	30	30	150	75	175	110	165
1000	10	30	30	135	100	175	125	165
1200	10	30	40	135	130	175	140	175
1500	10	35	50	110	140	170	140	185
2000	5	30	70	100	130	170	140	175
2500	5	25	90	95	120	170	140	175
3000	5	25	95	95	130	170	125	175
3500	5	25	95	95	130	170	125	165
4000	5	10	95	—	—	175	—	—

Nitrate im Meerwasser, Milligramme N_2 per m^3 Meerwasser

Tiefe m	Mittelländ. Meer		Atlant. Ozean		Indischer Ozean		Pazifischer Ozean	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
0	0	75	0	20	0	30	0	150
10	0	45	0	5	0	5	0	150
25	0	90	0	15	0	8	0	175
50	0	80	0	100	0	8	0	175
75	0	85	0	250	10	225	0	200
100	0	85	5	275	25	350	0	200
150	0	125	60	275	40	450	0	225
200	5	125	115	350	40	450	0	350
300	10	140	125	425	135	500	70	475
400	10	150	150	525	125	500	175	525
500	15	145	180	500	165	550	275	500
600	20	175	200	525	175	600	300	550
800	70	160	200	550	350	600	350	600
1000	75	200	225	525	450	600	375	600
1200	80	175	225	500	500	600	400	600
1500	80	175	250	475	500	600	375	600
2000	80	160	250	425	500	600	400	600
2500	80	150	275	375	450	600	375	550
3000	80	150	290	375	550	600	400	600
3500	90	150	290	375	550	600	375	600
4000	80	85	290	375	—	—	—	—

lichung von J. V. ERIKSSON (19) behandelt die Flußwässer Schwedens, also eines Gebietes, das vorwiegend aus alkristallinen Gesteinen besteht und welches deshalb als kennzeichnend für ein Abflußgebiet magmatischer Silikatgesteine betrachtet werden kann. Das von ERIKSSON untersuchte Gebiet umfaßt 278 000 km^2 . Die jährlich durch die Flüsse in gelöster Form zum Meer geführten Stoffe des Niederschlagsgebietes sind in folgender Tabelle zusammengestellt, und zwar in ton je km^2 je Jahr. Wie man aus der Tabelle sieht, handelt es sich um 18—27 ton je km^2 ; unter den anorganischen Stoffen ist Kalk bei weitem vorherrschend. Der Verfasser unterscheidet zwischen Moränengebieten, Lehmgebieten und Kalkgebieten. Die beiden erstgenannten Gebiete können als kennzeichnend für die chemische Verwitterung kristalliner Gebiete betrachtet werden.

Sämtliche Daten in ton je km^2 und Jahr

	Organ. Stoffe	Anorg. Stoffe	Von den anorganischen Stoffen sind:			
			CaO	Cl	SO ₃	CO ₂
Moränengebiete	11,3	7,8	2,8	1,6	0,9	3,0
Lehmgebiete	15,0	10,7	3,3	3,1	2,3	2,6
Kalkgebiete	19,4	7,2	6,9	2,1	3,2	4,3

ERIKSSON bringt auch eine Neuberechnung der Daten von CLARKE über die chemische Denudation und kommt zu dem Ergebnis, daß

die von Flüssen dem Meere zugeführte gelöste Stoffmenge für die ganze Landoberfläche der Erde (nach Abzug abflußloser Gebiete) 24,8 ton per km² jährlich beträgt.

Ein sehr umfassendes analytisches Material über die Zusammensetzung des Wassers nordamerikanischer Flüsse und Seen findet sich in einer Monographie von F. W. CLARKE, 1924. Er gibt als durchschnittliche Zusammensetzung der gelösten Stoffe in nordamerikanischen Binnengewässern die im folgenden unter A zusammengestellten Zahlen an. Auch hier erkennt man das Vorherrschen des Kalks unter den in Lösung vorhandenen Basen.

Berechnungen von CLARKE (14) über die Flußwässer anderer Erdteile zeigen große Ähnlichkeit mit den für Nordamerika errechneten Daten. Wir entnehmen den Data of Geochemistry (13) die folgenden Zahlen.

	A	B	C	D	E	F
	Binnengewässer von Nordamerika	Binnen- gewässer von Süd- amerika	Binnen- gewässer von Europa	Binnen- gewässer von Asien	Binnen- gewässer von Afrika	Durchschnitt der unter A—E ange- führten Zahlen nach Maßgabe der beteiligten Wassermenge
CO ₂	33,40	32,48	39,98	36,61	32,75	35,15
SO ₄	15,31	8,04	11,97	13,03	8,67	12,14
Cl	7,44	5,75	3,44	5,30	5,66	5,68
NO ₃	1,15	0,62	0,90	0,98	0,58	0,90
Ca	19,36	18,92	23,19	21,23	19,00	20,39
Mg	4,87	2,59	2,35	3,42	2,68	3,41
Na	7,46	5,03	4,32	5,98	4,90	5,79
K	1,77	1,95	2,75	1,98	2,35	2,12
(Fe,Al) ₂ O ₃	0,64	5,74	2,40	1,96	5,52	2,75
SiO ₂	8,60	18,88	8,70	9,51	17,89	11,67
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kam früher J. MURRAY (1887).

Es sei noch darauf hingewiesen, daß in den tropischen Flüssen der Gehalt an SO₄ verhältnismäßig niedrig ist, jener an Eisen und Tonerde hingegen hoch.

Auf jeden cm² der Erdoberfläche ($5,10 \times 10^{18}$ cm²) entfallen folgende Anteile der Hydrosphäre

268,45 l Meerwasser¹⁾,
 0,1 l Süßwasser,
 4,5 kg Kontinentaleis,
 0,003 kg Wasserdampf.

¹⁾ Bei einer früheren Berechnung wurde für das Volumen des Weltmeeres ein älterer Wert $1,33 \times 10^{24}$ cm³ zugrunde gelegt; daraus ergab sich als Menge des Meerwassers per cm² 271 kg.

Das Gewicht des Meerwassers je cm^2 Erdoberfläche beträgt (Dichte = 1,036 unter Berücksichtigung des hydrostatischen Druckes) 278,11 kg.

Eine Reihe von Verfassern hat Untersuchungen über die Menge des täglich und jährlich am Kreislauf beteiligten Wassers ausgeführt. Es sei auf Untersuchungen von E. BRÜCKNER (8), R. CHERUBIM (12), R. FRITZSCHE (23), W. HALBFASS (40), W. MEINARDUS (60, 62), W. SCHMIDT (78), G. WÜST (95) hingewiesen. Wir bringen die Zahlen, die von den verschiedenen Verfassern angegeben werden, in der folgenden Tabelle.

Niederschlag in 1000 km^3					
	BRÜCKNER	FRITZSCHE	SCHMIDT	WÜST	CHERUBIM
Weltmeer	364	353	242	267	334
Festland	117	112	112	112	112
Erde	481	465	354	379	446

Verdunstung in 1000 km^3					
	BRÜCKNER	FRITZSCHE	SCHMIDT	WÜST	CHERUBIM
Weltmeer	384	384	273	304	371
Festland	97	81	81	75	75
Erde	481	465	354	379	446

Die Differenz zwischen der Verdampfung und dem Niederschlag auf dem Meere wurde aus der Meeresmenge ermittelt, welche jährlich durch die Flüsse dem Meere zugeführt wird. Hierbei sind diejenigen Wassermengen nicht berücksichtigt, welche dem Meere durch Zufluß von Grundwasser vom Festlande her zugeführt werden. Die jährlich umgesetzte Wassermenge beträgt, wie W. MEINARDUS berechnet hat, etwa 0,3 % des gesamten Wasservorrats der Erde; sie würde einer Wasserschicht von 74 cm Höhe auf der gesamten Erdoberfläche entsprechen.

IV. Durchschnittliche Zusammensetzung der Eruptivgesteine

Für die durchschnittliche Zusammensetzung der Eruptivgesteine werden meistens die Zahlen von CLARKE und WASHINGTON (15) angeführt, als Durchschnitt aller bisher an frischen Eruptivgesteinen ausgeführten zuverlässigen Analysen. Es sind auch entsprechende Durchschnittswerte für die verschiedenen Kontinente und einzelnen Länder berechnet worden. Gegen die von CLARKE und WASHINGTON angewandte Berechnungsweise ist der grundsätzliche Einwand geäußert worden, daß bei der Berechnung eines Durchschnittes aus sämtlichen Analysen der Eruptivgesteine, bei welcher auf die Massenverhältnisse der Gesteine keine Rücksicht genommen wird, naturgemäß eine statistische Bevorzugung seltener und petrographisch eigentümlicher Gesteinstypen stattfindet, gegenüber den in großen Massen ver-

breiteten gewöhnlichsten Gesteinsarten. Beispielsweise werden seltene Typen von Nephelingesteinen, die oftmals nur in ganz kleinen Massen auftreten, zu stark in Rechnung gebracht, verglichen etwa mit den riesigen Massen gewöhnlicher Granite. Man erkennt dies beispielsweise bei WASHINGTON'S Berechnung der Durchschnittszusammensetzung norwegischer Gesteine, bei welcher der überwiegende Teil der Analysen aus den verhältnismäßig kleinen Massen der Alkaligesteine des Oslogebietes stammt, während die großen Massen präkambrischer granitischer und quarzdioritischer Gesteine nur in ganz geringem Umfange durch Analysen vertreten sind. Auf diese Unvollkommenheit der Berechnungsweise von CLARKE und WASHINGTON hat vor allem J. J. SEDERHOLM (81) hingewiesen.

Wir können aber die Brauchbarkeit der Durchschnittszahlen von CLARKE und WASHINGTON prüfen, indem wir solches sedimentäres Material untersuchen, welches nach seiner Entstehungsweise einen brauchbaren Durchschnittswert der kristallinen Gesteine eines größeren Gebietes der Erdoberfläche liefert. Am geeignetsten erscheint hierzu das Material der glazialen und postglazialen Lehmablagerungen des südlichen Norwegens. Es handelt sich hierbei um ein Gebiet von etwa 200 000 km², welches ganz überwiegend aus kristallinen Gesteinen besteht. Bei der eiszeitlichen Abtragung des Gebietes hat hauptsächlich mechanische Zerkleinerung stattgefunden, und nur in verhältnismäßig geringem Umfange chemische Verwitterung. Die glazialen und postglazialen Lehmablagerungen bestehen dementsprechend weitgehend aus nur mechanisch zerkleinertem Gesteinsmaterial. Eine bedeutende Anzahl von vollständigen Analysen ist an großen Durchschnittsproben dieser Lehme im mineralogischen Institut der Universität Oslo von H. HOUGEN, E. KLÜVER und O. A. LÖKKE (46) ausgeführt worden. Von den in jener Arbeit mitgeteilten Analysen beziehen sich 78 auf die Lehme des südlichen Norwegens. Diese 78 Analysen wurden zu einer Durchschnittsberechnung angewandt. Für diese Durchschnittsberechnung wurden einerseits 68 Analysen der Primärzone der betreffenden Lehme und Ablagerungen angewandt, andererseits 10 Analysen der Sekundärzone, um festzustellen, inwiefern Verwitterungserscheinungen nach der Ablagerung der Sedimente in Erscheinung treten. Man erkennt, daß solche Verwitterungserscheinungen darin zum Ausdruck kommen, daß der Anteil des dreiwertigen Eisens in der Sekundärzone durch Oxydation vergrößert ist, während der Anteil des Calciums, durch Auslaugung von kohlensaurem Kalk, vermindert worden ist. Das Gesamtbild zeigt größte Ähnlichkeit mit den Zahlen von CLARKE und WASHINGTON, ein Anzeichen dafür, daß die Zahlen dieser Verfasser tatsächlich dem Durchschnitt der magmatischen Silikatgesteine recht nahe entsprechen, trotz der grundsätzlich berechtigten Einwände gegen ihr Berechnungsverfahren.

In neuester Zeit hat J. H. L. VOGT (87) an den Zahlen von CLARKE und WASHINGTON Kritik geübt, ebenfalls auf Grundlage der Auffassung, daß bei der Berechnung von CLARKE und WASHINGTON eine zu starke Berücksichtigung seltener Gesteinsarten stattfindet.

VOGT berechnet die Durchschnittszusammensetzung auf Grundlage von DALY's Mittelwerten (18) für die einzelnen Typen von Eruptivgesteinen, denen er ein Gewicht proportional der Massenbeteiligung der betreffenden Gesteine erteilt. Als Häufigkeitsverhältnis der Tiefengesteine gibt er zwei Alternative, bei denen den Graniten je 50 oder 60 % des Gesamtgewichts zugeschrieben werden.

Mengenverhältnis der Eruptivgesteine

	I	II
Granit	50	60
Quarzmonzonit und Granodiorit	10	9
Quarzdiorit und Diorit	8	6
Gabbro	18	15
Anorthosit	4	3
Pyroxenit und Peridotit	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
Nordmarkit und Pulaskit	1	1
Alkali-Kalk-Syenit	3	2
Monzonit	4	3
Nephelinsyenit	1	$\frac{1}{2}$
Essexit usw.	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
	100	100

Durchschnittliche Zusammensetzung der Eruptivgesteine und norwegischer Lehme

	CLARKE- WASHINGTON, 1924	J. H. L. VOGT, 1931		Norwegische Lehme		
		I	II	Primärzone	Sekundärzone	Mittel
SiO ₂	59,12	64,03	65,73	58,94	60,82	59,19
TiO ₂	1,05	0,600	0,546	0,79	0,78	0,79
Al ₂ O ₃	15,34	15,71	15,41	15,87	15,48	15,82
Fe ₂ O ₃	3,08	2,20	2,10	3,28	4,35	3,41
FeO	3,80	2,66	2,30	3,69	2,82	3,58
MnO	0,12	—	—	0,10	0,12	0,11
MgO	3,49	2,67	2,23	3,33	3,02	3,30
CaO	5,08	4,62	4,01	3,19	2,25	3,07
Na ₂ O	3,84	3,51	3,43	2,05	2,00	2,05
K ₂ O	3,13	3,52	3,79	3,95	3,83	3,93
H ₂ O	1,15	—	—	3,01	3,10	3,02
P ₂ O ₅	0,30	0,18	0,17	0,21	0,23	0,22
SO ₃	—	—	—	0,09	0,05	0,08
S	0,05	—	—	0,08	0,03	0,07
CO ₂	0,10	—	—	0,60	0,18	0,54

Beim Vergleich der norwegischen Lehme mit der errechneten durchschnittlichen Zusammensetzung der Eruptivgesteine erkennt man, daß nur der Gehalt an Calcium und Natrium in den Lehmen eine wesentliche Verminderung durch die Vorgänge der Verwitterung und

Auslaugung erfahren hat. Man erkennt weiterhin, daß diese Auslaugung in der verwitterten Sekundärzone der Lehmablagerungen schon etwas weiter vorgeschritten ist. Die Auslaugung von Calcium und Natrium bei den Vorgängen der Verwitterung und der Bildung toniger und sandiger Sedimente ist eine der wichtigsten geochemischen Erscheinungen des äußeren Kreislaufs der Stoffe. Bei den norwegischen glazialen und postglazialen Lehmen tritt diese Erscheinung allerdings sehr viel schwächer auf, als bei normalen tonigen Sedimenten, weil Abtragung und Wiederablagerung so schnell und bei so niedriger Temperatur vor sich gegangen sind, daß die chemische Verwitterung nur in geringem Ausmaße stattfinden konnte. Eben deshalb eignen sich gerade diese Lehme für eine Bestimmung der Durchschnittszusammensetzung der Lithosphäre.

Ein Tiefengestein, dessen chemische Zusammensetzung sehr nahe dem Durchschnitt der Eruptivgesteine entspricht, ist der Opdalit, aus der 150 km² großen Tiefengesteinsmasse von Opdal-Indset bei etwa 62° 40' N im südlichen Norwegen (25). Der Opdalit findet sich vor allem nahe den Grenzen der großen Tiefengesteinsmasse, deren Zusammensetzung von Quarz-Biotit-Norit bis zu sauren, quarzreichen, Trondhjemiten wechselt. Die folgenden Tabellen zeigen den chemischen Bestand des Opdalits.

	I	II
SiO ₂	62,25	61,64
TiO ₂	0,94	0,97
Al ₂ O ₃	15,15	15,44
Fe ₂ O ₃	0,96	0,92
FeO	4,49	4,64
MnO	0,07	n. best.
MgO	3,92	4,28
CaO	4,47	4,85
BaO	0,06	n. best.
Na ₂ O	3,30	3,55
K ₂ O	3,50	3,24
P ₂ O ₅	0,16	0,15
CO ₂	0,06	0,12
S	0,04	n. best.
H ₂ O — 105°	0,05	n. best.
H ₂ O + 105°	0,57	0,43
	99,99	100,23
Dichte $\frac{20^{\circ}}{4^{\circ}}$	2,777	2,790

Folgende Tabellen geben den Mineralbestand, der sich nach Maßgabe der beobachteten Minerale, aus den zwei Analysen berechnen läßt, verglichen unter III mit der „Norm“ der durchschnittlichen Zusammensetzung der Eruptivgesteine nach WASHINGTON (1910).

	I	II	III
Quarz	16,0	14,0	8,0
Kalifeldspat	15,0	13,0	19,8
Albit	28,0	30,1	34,5
Anorthit	15,0	16,0	15,2
Diopsidischer Augit	4,7	5,2	7,7
Hypersthen	8,8	9,3	11,1
Magnetit	0,5	0,5	2,7
Ilmenit	1,2	1,2	0,9
Biotit	10,0	10,5	—
Apatit	0,4	0,4	—
Magnetkies	0,1	—	—
Calcit	0,1	0,3	—
	99,8	100,5	99,9

V. Die Mengen seltener Elemente in den Eruptivgesteinen

Über die Mengen der seltenen chemischen Elemente in den Eruptivgesteinen liegen bereits zahlreiche Angaben vor. Die ersten Versuche, systematisch die Mengenverhältnisse seltener Elemente abzuschätzen, stammen von J. H. L. VOGT und von F. W. CLARKE. Diese Abschätzungen waren in den meisten Fällen naturgemäß nur sehr unvollkommen, weil als Grundlage der Schätzung gewöhnlich nur einige wenige Arten des Vorkommens dieser seltenen Elemente in Betracht gezogen wurden. Beispielsweise hat man den Gehalt an Gallium nach dem Vorkommen des Galliums in Zinkblenden abgeschätzt, während wir heute wissen, daß nur ein ganz geringer Teil des in irdischen Gesteinen auftretenden Galliums an Zinkblende gebunden ist, indem die überwiegende Menge dieses Elementes in den Mineralien des Aluminiums getarnt ist. Neue Bestimmungen seltener Elemente in Gesteinen und gesteinsbildenden Mineralien verdanken wir den bekannten Untersuchungen von I. und W. NODDACK (69) und G. v. HEVESY (41, 42, 43), sowie Arbeiten aus den Mineralogischen Instituten der Universitäten Oslo und Göttingen (36). Insbesondere hat sich als zweckmäßig erwiesen, bei der quantitativen Bestimmung seltener Elemente in Gesteinen physikalische Arbeitsverfahren der chemischen Analyse anzuwenden. Das klassische Beispiel hierfür, das zeitlich schon wesentlich weiter zurückgreift, als die eben genannten Untersuchungen, bildet die quantitative Bestimmung der Elemente Uran, Thorium, Radium mittels Messungen der Radioaktivität. Ein noch viel weiteres Anwendungsgebiet besitzen die Methoden der quantitativen Spektralanalyse, die entweder an den rohen Gesteinen ausgeführt werden können, oder in vielen Fällen noch zweckmäßiger an chemisch angereicherten Produkten. Beispielsweise wird man die Gehalte der Gesteine an den Elementen Scandium, Yttrium und den Lanthaniden mittels spektralanalytischer Untersuchungen der isolierten

Sesquioxide bestimmen (36). Für die spektralanalytischen Verfahren kommen einerseits die Röntgenspektren in Betracht, andererseits die Spektren im optischen Gebiete, bei welchen letzteren als Anregungsverfahren sowohl der Lichtbogen, wie die Funken mit Erfolg benutzt worden sind.

Im folgenden wollen wir noch keine vollständige Tabelle über die Mengenverhältnisse seltener Elemente in der Lithosphäre bringen, weil für sehr viele Elemente unsere heutige Kenntnis noch zu unvollständig erscheint. Wir wollen nur an einigen ausgewählten Beispielen die zahlenmäßige Erfassung der Gehalte, verglichen mit früheren Abschätzungen, darstellen.

	CLARKE u. WASHINGTON, 1924 ‰	I. u. W. NODDACK, 1930 ‰	V. M. GOLDSCHMIDT u. CL. PETERS, 1930—33 ‰
Li	0,004	—	0,005
Be	0,001	—	0,0002—0,001
B	0,001	—	0,0003
Sc	0,0000n	0,0006	0,0003—0,0006
Ga	0,00 00 00n	0,00002	0,001—0,0015
Ge	0,00 00 00n	0,0001	0,0004—0,0007
Rb	0,000n	—	0,03
Cs	0,0000n	—	0,001

Weitere Elemente, für welche bereits verlässliche Daten erbracht wurden, sind Zirkonium und Hafnium, Niob und Tantal, sowie Blei nach G. v. HEVESY und Mitarbeitern, ferner die radioaktiven Elemente, sowie eine Anzahl von Elementen, welche durch die Untersuchungen von I. und W. NODDACK erfaßt worden sind.

J. H. L. VOGT (87) hat vermutet, daß die von CLARKE und WASHINGTON errechneten Daten für Titan, Phosphor, Chrom, Nickel und Vanadium zu hoch sind, wegen zu starker Berücksichtigung seltener basischer Gesteinstypen bei der Durchschnittsberechnung, und möchte für diese Elemente niedrigere Zahlen für richtig halten.

	CLARKE-WASHINGTON, 1924	VOGT, 1931
TiO ₂	1,05	0,6
P ₂ O ₅	0,30	0,18
V	0,02	0,01
Ni	0,02	0,01

Für den Gehalt an Vanadium fanden G. v. HEVESY und Mitarbeiter (43) die Zahl 0,02 ‰ in einer Durchschnittsprobe von Eruptivgesteinen. K. JOST (47) fand bei einer umfassenden Untersuchung der Vanadiumgehalte von Sedimentgesteinen im Durchschnitt den Wert 0,01 ‰ V, in Übereinstimmung mit dem von VOGT geschätzten Wert.

Selbstverständlich darf man aus den Mengenverhältnissen der Elemente in der Lithosphäre keine allgemeinen Schlüsse über die

absoluten Mengenverhältnisse der chemischen Elemente in der Welt ableiten, ohne zu berücksichtigen, daß wir in der Lithosphäre eine nach chemischen Eigenschaften angereicherte Vergesellschaftung finden, nämlich eine Vergesellschaftung lithophiler Elemente, mit besonderer Anreicherung von Elementen der Restmagmen. Dementsprechend ist beispielsweise in der Lithosphäre das Gallium häufiger als das Germanium, während uns die Befunde an Meteoriten und am Spektrum der Sonnenatmosphäre mit Sicherheit zeigen, daß Germanium im Kosmos in wesentlich größerer Menge vorkommt als Gallium. Betrachtet man die Mengenverhältnisse der Elemente in Eruptivgesteinen, so muß man auch berücksichtigen, daß manche Elemente in den Eruptivgesteinen relativ schwach vertreten sind, die wir in Sedimentgesteinen reichlicher antreffen, wie zum Beispiel das Bor (32) und das Chlor, welche offenbar in den ursprünglichen Entgasungsprodukten der Erde angereichert worden sind.

In manchen Fällen können allerdings auch die Daten über den chemischen Bestand der Eruptivgesteine benutzt werden, um Schlüsse über die wahren Häufigkeitsverhältnisse der Elemente abzuleiten, so erkennt man in der Zusammensetzung der Eruptivgesteine, ebenso wie in jener der Meteoriten, den besonders auffälligen Umstand der großen Seltenheit der Elemente Lithium, Beryllium und Bor, welche offenbar mit der Instabilität der beteiligten Atomarten in ursächlicher Verbindung steht, eine Tatsache, auf welche bereits 1926 hingewiesen werden konnte. Es ist sehr auffällig, daß drei benachbarte Elemente mit sehr geringer Kernladung (nämlich $Z = 3, 4$ und 5) um viele Größenordnungen seltener sind, als andere Elemente mit niedriger Kernladung. Die neuesten Untersuchungen über Zertrümmerung von Atomen durch Zusammenstöße mit schnellen Protonen haben gezeigt, daß gerade Lithium, Beryllium und Bor durch solche Zusammenstöße leicht zerstört werden.

VI. Berechnung der Sedimentmengen

Die folgenden Berechnungen haben zur Aufgabe, die im Laufe der geologischen Zeiten bisher gebildeten Mengen von Sedimentgesteinen quantitativ zu ermitteln. Es bestehen kennzeichnende Unterschiede zwischen der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung der Eruptivgesteine und der Zusammensetzung der typischen Sedimentgesteine, in dem Sinne, daß gewisse Bestandteile der Eruptivgesteine in manchen Sedimentgesteinen fehlen, beziehungsweise stark zurücktreten, und daß in anderen Sedimentgesteinen eine starke Anreicherung einzelner Komponenten der Eruptivgesteine stattgefunden hat. Ein Teil der Stoffe, welche bei der Verwitterung der Eruptivgesteine in Lösung gehen, wird im Meerwasser angereichert. Da wir

die absolute Menge des Meerwassers kennen, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, aus Menge und Zusammensetzung des Meerwassers einerseits und der Zusammensetzung der Eruptivgesteine und Sedimentgesteine andererseits, die absoluten Mengen der bisher verwitterten Eruptivgesteine und die Mengen der aus dem gleichen Material neu gebildeten Sedimentgesteine zu berechnen. Besonders seitens amerikanischer Forscher (CLARKE (13), MEAD (59), STEIDTMANN (82)) sind solche Berechnungen bereits frühzeitig versucht worden. Eine Übersicht über solche Berechnungen findet man beispielsweise in dem bekannten Lehrbuch von LEITH und MEAD (52). Das heute vorhandene Zahlenmaterial erlaubt, solche Berechnungen mit größerer Sicherheit durchzuführen, und auf solcher Grundlage für zahlreiche Elemente eine Bilanz des äußeren Kreislaufes aufzustellen.

Kennen wir die Zusammensetzung der primären magmatischen Gesteine und der aus ihnen entstandenen Sedimente, so können wir, wie oben erwähnt, aus der bekannten Masse des Ozeans die Mengen der bisher entstandenen Sedimentgesteine berechnen, beziehungsweise obere Grenzwerte für diese Mengen eindeutig feststellen.

Ein einfaches Verfahren einer solchen Berechnung, das schon von mehreren Verfassern angewandt worden ist, besteht darin, die Menge des Stoffumsatzes aus dem Natriumgehalt des Meerwassers abzuleiten, unter der Voraussetzung, daß der gesamte Natriumgehalt des Meerwassers aus der Verwitterung von Eruptivgesteinen her stammt. Man erhält auf diese Weise einen oberen Grenzwert der in den äußeren Kreislauf einbezogenen Stoffmenge. Falls schon bei der ersten Kondensation des Meerwassers Natriumsalze in Lösung vorhanden waren, wäre der errechnete Stoffumsatz um einen entsprechenden Betrag zu vermindern. Für quantitative geochemische Berechnungen dieser Art beziehen wir zweckmäßig den Stoffumsatz auf eine bestimmte Flächeneinheit der Erdoberfläche, wie es wohl zuerst von TH. SCHLOESING (77) 1880 vorgeschlagen worden ist. Wir wollen im folgenden als Bezugseinheit 1 cm^2 der Erdoberfläche wählen; auf diese Einheit entfallen (siehe oben) 278 kg Meerwasser. In 278 kg Meerwasser sind 2,975 kg Natrium enthalten. Hieraus können wir die Mengen der Sedimentgesteine berechnen, wenn wir den durchschnittlichen Natriumgehalt der Eruptivgesteine und der Sedimentgesteine kennen. Wir setzen dabei voraus, daß der gesamte Natriumgehalt des Meerwassers, wie oben erwähnt, aus den Vorgängen der Verwitterung der Eruptivgesteine stammt. Wir wollen durchaus nicht die Richtigkeit dieser Voraussetzung behaupten, sondern sie zur Berechnung einer oberen Grenze der umgesetzten Stoffmenge verwerten. Der durchschnittliche Gehalt der Eruptivgesteine an Natrium zeigt bei den verschiedenen Berechnungsarten (CLARKE-WASHINGTON und VOGT) nur geringe Schwankungen (siehe S. 124). Wir wollen die Zahl von CLARKE-WASHINGTON,

nämlich 2,83 % Na, der Berechnung zugrunde legen. Für den Natriumgehalt der normalen tonigen und sandigen Sedimentgesteine können wir folgende Angaben verwerten. Eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 78 Tonschiefern, analysiert von H. N. STOKES, nach CLARKE, eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 52 Proben terrigenen Schlammes, analysiert von G. STEIGER, ebenfalls nach CLARKE (13), sodann Analysen einiger Durchschnittsmischungen norwegischer paläozoischer Tonsedimente und sandig-toniger Sedimente (gesammelt vom Verfasser), sämtlich analysiert von O. RÖER; es sind dies eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 18 Quarz—Muskovit—Chlorit—Phylliten aus dem Stavangergebiet (25), eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 11 Quarz—Muskovit—Chlorit—Phylliten aus dem zentralen Norwegen (unveröffentlicht), eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 12 Quarz—Muskovit—Biotit—Phylliten aus dem zentralen Norwegen (unveröffentlicht), eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 30 Granatglimmerschiefern aus dem Trondheimgebiet (unveröffentlicht), eine Analyse einer Durchschnittsprobe von 11 Staurolithschiefern aus dem Trondheimgebiet (unveröffentlicht).

Diese Sedimentgesteine entsprechen in bezug auf durchschnittliche Gehalte an Kieselsäure und Tonerde etwa dem Durchschnitt der Lithosphäre, wobei in Betracht zu ziehen ist, daß die Tonsedimente eine merkliche Menge an Wasser aufgenommen haben, verglichen mit ihrem Ursprungsmaterial.

Die folgende Tabelle bringt die für uns hier wichtigsten Daten der Analysen. Als „flüchtige Bestandteile“ werden die Summen von Wasser, Kohlendioxyd und Kohlenstoff angeführt.

	Analytiker	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Gesamteisen als FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	Summe (H ₂ O) + (C + S)
Eruptivgesteine (CLARKE-WASHINGTON)	—	59,12	15,34	6,57	3,49	5,08	3,84	3,13	0,10	1,23
78 Tonschiefer	STOKES	58,38	15,40	6,07	2,45	3,12	1,31	3,25	2,64	7,60
52 Proben von terrigenem Schlamm	STEIGER	57,05	17,22	6,86	2,17	2,04	1,05	2,25	—	8,80
18 Phyllite, Stavangergebiet	RÖER	57,29	20,00	6,79	1,76	0,37	1,40	4,30	0,05	4,91
11 „ „ Zentral-Norwegen	„	63,09	16,70	6,16	2,43	0,40	1,32	4,59	Spur	4,07
12 „ „ „	„	65,10	14,92	5,84	2,23	1,11	0,98	4,82	0,65	3,77
30 Glimmerschiefer, Trondheimgebiet	„	67,34	13,78	6,37	3,05	1,38	1,31	3,34	0,10	2,08
11 „ „	„	61,25	17,26	7,62	4,83	1,05	1,35	3,22	0,30	2,40

Man erkennt gegenüber der mittleren Zusammensetzung der Eruptivgesteine die starke Abnahme an Calcium und Natrium, eine merkliche Abnahme an Magnesium, sowie die Aufnahme flüchtiger Bestandteile, ganz entsprechend den chemischen Besonderheiten der tonigen Sedimente, auf welche schon G. LINCK (53) aufmerksam gemacht hat.

Nach Umrechnung der Na_2O -Gehalte auf Na finden wir, daß die typischen Tonsedimente etwa 1 % Na enthalten, gegenüber 2,83 % Na in der Durchschnittszusammensetzung der Eruptivgesteine. Wir können hieraus die Menge der bisher verwitterten Eruptivgesteine X und die Menge der bisher entstandenen tonigen (und sandigen) Sedimente Y berechnen. Wir berücksichtigen hierbei den Umstand, daß bei der Bildung dieser Sedimente aus Material der Eruptivgesteine der Gehalt an CaO um etwa 4,5 % sinkt¹⁾, der Gehalt an MgO um 1,0 %, der Gehalt an Na_2O um 2,5 %; insgesamt beträgt der Gewichtsverlust brutto 8,0 %; dieser Verlust wird teilweise aufgewogen durch die Aufnahme an H_2O (etwa 5 % für unmetamorphe Tonschiefer).

Einem Materialverluste (an CaO, MgO, Na_2O) um 8 % steht demnach eine Wasseraufnahme von etwa 5 % gegenüber; der Nettoverlust an Masse beträgt demnach 3 %, hieraus ergibt sich:

$$Y = 0,97 X.$$

Weiterhin ergibt sich aus der Natriummenge des Meerwassers, 2,975 kg Na je cm^2 der Erdoberfläche, die Beziehung:

$$2,83 X - 1,00 Y = 100 \times 2,975.$$

Wir erhalten hieraus für X, die Menge der bisher der Verwitterung anheimgefallenen Menge von Eruptivgesteinen je cm^2 der gesamten Erdoberfläche 160 kg. Als Menge Y der hieraus entstandenen tonig-sandigen Sedimente erhalten wir 155 kg.

Bei unserer Berechnung vernachlässigen wir einerseits die Abscheidung von reinen Salzsedimenten aus dem Meerwasser, andererseits die Zufuhr von löslichen Natriumsalzen aus vulkanischen Exhalationen und juvenilen Quellwässern zur Hydrosphäre. Beide Beeinflussungen der Natriumbilanz des Meeres und der Sedimentgesteine dürften gering sein, im Vergleiche mit dem gesamten Umsatze an Natrium; beide wirken zudem in entgegengesetzter Richtung.

Wir können aus unseren Daten nun weiterhin die bisher entstandenen Mengen von Karbonatgesteinen erfassen. Die bisherige Berechnung bezog sich auf tonig-sandige Sedimente nach Abzug des in ihnen enthaltenen Karbonatgehaltes. Wir berechnen sodann die gesamte Menge von Calciumkarbonat in Sedimentgesteinen, ohne Rücksicht darauf, ob dieses Calciumkarbonat als mehr oder weniger reiner Kalkstein vorliegt, oder als Karbonatbeimengung in Mergeln und Kalksandsteinen. In analoger Weise berechnen wir die Mengen von Magnesiumkarbonat.

Man bemerkt, daß in normalen tonigen und sandigen Sedimenten der Gehalt an Kalk, sofern ein solcher mehr als etwa 0,6 % beträgt, in Form von CaCO_3 an eine entsprechende Menge von Kohlensäure gebunden ist. Dies ist begründet in der leichten Angreifbarkeit der

¹⁾ Berechnet auf karbonatfreies Tonsediment mit 0,6 % CaO.

primären calciumhaltigen Silikate (kalkreiche Plagioklase, Pyroxene) durch Vorgänge der Verwitterung. Ich möchte deshalb 0,6 % CaO als normalen durchschnittlichen Kalkgehalt der tonig-sandigen Sedimente (nach Abzug des als CaCO_3 beigemengten Anteils) betrachten. Der richtige Wert dürfte jedenfalls zwischen 0,3 und 0,9 % CaO liegen.

Während über den Betrag des durchschnittlichen CaO-Gehaltes der (karbonatfrei berechneten) Sedimentgesteine keine erhebliche Meinungsverschiedenheit bestehen kann, ist es schwieriger, einen Durchschnittswert für den entsprechenden Gehalt der Sedimente an MgO zu berechnen. Manche Tonschiefer und viele Sandsteine sind sehr arm an MgO, in anderen findet man erhebliche Mengen. Bei früherer Gelegenheit konnte gezeigt werden, daß Beimengung von Tuff und von klastischem Material basischer Eruptive in tonigen Sedimenten zu einem erheblichen Gehalte von nichtkarbonatischem MgO Anlaß gibt. Vor kurzem hat auch O. KULLING¹⁾ darauf hinweisen können, daß in den paläozoischen Tonsedimenten der Kaledoniden sowohl MgO-arme, wie MgO-reiche Fazies vertreten sind. Als durchschnittlichen Gehalt der tonig-sandigen Sedimente an nichtkarbonatischem MgO möchte ich unter Hinweis auf die Tabelle S. 130, 2,6 % annehmen. Die richtige Zahl liegt jedenfalls innerhalb der Grenzen 1,6 und 3,6 %.

Wir erhalten dann für die Berechnung der Mengen von Kalkstein und Dolomit die folgenden Daten

Gehalt des Meerwassers je 1 cm ² Erdoberfläche			
Ca	$0,00042 \times 278 \text{ kg} = 0,117 \text{ kg}$		
Mg	$0,00130 \times 278 \text{ „} = 0,361 \text{ „}$		
	CaO	MgO	
Eruptivgesteine	5,08 %	3,49 %	
Tonig-sandige Sedimente (ohne Karbonate)	0,6 „	2,6 „	
160 kg Eruptivgesteine enthalten	8,128 kg CaO	und	5,584 kg MgO,
155 „ Tonig-sandige Sedimente enthalten	0,930 „ CaO	„	4,030 „ MgO,
278 „ Meerwasser enthalten	0,117 „ Ca	„	0,361 „ Mg.
entsprechend	0,164 „ CaO	„	0,598 „ MgO.

In den Sedimentgesteinen finden sich demnach in Form von Karbonaten

7,034 kg CaO	0,956 kg MgO
5,519 „ CO ₂	1,043 „ CO ₂
12,553 kg CaCO ₃	1,999 kg MgCO ₃

Berechnen wir die Menge von Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, welche dem MgCO_3 entspricht, so erhalten wir

10,170 kg CaCO₃ und 4,372 kg $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

¹⁾ O. KULLING, in einer soeben erschienenen Abhandlung über die Geologie des Björkvattn-Visen-Gebiets im südlichen Lappland. Geol. Fören. i Stockholms Förh. 1933, Bd. 55, S. 167.

Hiermit wären die drei wesentlichen Komponenten der Sedimentgesteine rechnerisch erfaßt, nämlich die (karbonatfreien) tonig-sandigen Sedimente mit 155 kg, Kalkstein mit 10,2 kg und Dolomit mit 4,4 kg je cm^2 der gesamten Erdoberfläche. Die Gesamtmenge des in Sedimentgesteinen derart gebundenen Kohlendioxydes beträgt 6,562 kg CO_2 je cm^2 . Wir dürfen hierbei nicht außer acht lassen, daß die Berechnung einen Höchstwert für die Sedimentmenge liefert: ferner müssen wir beachten, daß die drei hier in Rechnung gestellten Komponenten natürlich nicht absolut getrennt in drei verschiedenen Sedimentarten auftreten, sondern daß ein Teil der Karbonate in die Tonschiefer und Sandsteine eintritt, ebenso wie auch die Kalksteine Ton und Sand enthalten, und wie in den Mergeln Mischungen der tonigen und karbonatischen Anteile vorkommen. Für die Berechnung der gesamten Stoffmengen der Sedimente ist dies aber natürlich ohne Einfluß.

Wir können nun auch die Gesamtmächtigkeit der Sedimentgesteine berechnen.

	Menge je cm^2	Dichte	Mächtigkeit
Tonschiefer und Sandstein	155 kg	2,65	585 m
Kalkstein	10,2 „	2,7	38 „
Dolomit	4,4 „	2,9	16 „
	169,6 kg		639 m

Diese durchschnittliche Gesamtmächtigkeit ist von ähnlicher Größe, wie die Mächtigkeit, welche F. W. CLARKE (13), ebenfalls auf Grundlage der Natriummenge im Meerwasser errechnet hat, nämlich maximal 678—712 m.

Wenn wir die errechnete Gesamtmächtigkeit der Sedimente mit den tatsächlich beobachteten Mächtigkeiten der geologischen Formationen vergleichen wollen, müssen wir zunächst in Betracht ziehen, daß selbstverständlich nicht alle geologischen Formationen überall in voller Mächtigkeit übereinander zur Ablagerung kamen; sondern daß erstens nur begrenzte Räume der Sedimentation jeweilig in Betracht kommen, und daß zweitens durch die Abtragung älterer Sedimentgesteine das Material für die Ablagerung jüngerer Sedimentgesteine zum großen Teile geliefert wird. Ferner müssen wir bedenken, daß als Ablagerungsräume großer Sedimentmassen im allgemeinen nicht die Tiefseebecken in Betracht kommen, sondern vor allem jene Teile der Kontinentalblöcke, welche jeweilig dem Schelfgebiet der Küstenmeere angehören.

Kontinente und heutiger Schelf nehmen etwa 34,5% der Erdoberfläche ein: als durchschnittliche Mächtigkeit der Sedimente in den wesentlichen Gebieten der Sedimentation käme also, wie auch von den amerikanischen Forschern betont, etwa der dreifache Wert der hier errechneten Zahl in Betracht, also etwa 2000 m.

Zu unserer Berechnung ist aber, vom Standpunkte der Sedimentpetrographie und Geologie, noch folgendes zu bemerken. Unsere Berechnung erfaßt nur diejenigen Sedimentkomponenten, die einem vollständigen Verwitterungsvorgang unterworfen worden sind, und daher ihren Gehalt an löslichen Basen (vor allem Natron) an die Hydrosphäre abgegeben haben. Unsere Berechnung umfaßt grundsätzlich nicht solche Sedimente, welche nur durch mechanische Abtragung von Material der Eruptivgesteine gebildet wurden, wie etwa Konglomerate (mit Ausnahme der Residualkonglomerate aus Quarzgeröllen) und Arkosen. Ebenso wenig erfaßt die Berechnung die Arkoseanteile der Grauwacken und der Sandsteine. Und gerade solche, chemisch nicht oder nur wenig verwitterte, meist grobklastische Sedimentmassen, welche durch unsere Berechnungsweise grundsätzlich nicht erfaßt werden, bilden einen bedeutenden Anteil an den mächtigsten bekannten Sedimentserien der Schelfe und der Binnensenken. Wir müssen dieser Tatsache eingedenk sein, wenn wir unsere errechneten Mengen von Idealsedimenten mit den tatsächlich beobachteten, unvollständig aufgearbeiteten Ablagerungen vergleichen. Unsere Berechnung erfaßt also beispielsweise den Tonschlamm und das Calciumkarbonat, die in einer Grauwacke mit enthalten sind, nicht aber das noch unzersetzte Material von Feldspaten in einem solchen Sedimente: letzteres Material ist nach unserer Definition zwar schon mechanisch in den äußeren Stoffkreislauf eingebracht, ist aber noch nicht in die chemischen Vorgänge dieses Kreislaufs mit einbezogen worden. Wir müssen hierbei noch folgenden Umstandes gedenken. Bei unvollständiger chemischer Verwitterung wird in vielen Fällen der Kalk schneller aus Silikatmineralen ausgelaugt als das Natron, man vergleiche zum Beispiel die Analysen norwegischer Lehme (S. 124). Dementsprechend kann die Vernachlässigung der Grauwacken, Arkosen und anderer unvollständig verwitterter Sedimente dazu führen, daß der Anteil der Kalksteine an den gesamten Sedimenten zu niedrig berechnet wird. Die Größe des hierbei entstehenden Fehlers kann heute noch nicht ermittelt werden, wir können nur sagen, daß er in einer zu niedrigen Berechnung der Kalksteinmenge zum Ausdruck gelangt.

Das bei unserer Berechnungsweise gefundene durchschnittliche Mengenverhältnis zwischen CaCO_3 und MgCO_3 in Sedimentgesteinen, 6,3 : 1, vergleichen wir sodann mit dem Mengenverhältnis, welches DALY (17) empirisch gefunden hat.

Karbonatsedimente	$\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3$
Vor-Devonisch	2,39 : 1
Devon	4,49 : 1
Karbon	8,89 : 1
Kreide	40,23 : 1
Tertiär	37,92 : 1
Quartär und rezent	25,00 : 1

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die oben (S. 132) berechneten Mengen von CaCO_3 und MgCO_3 nicht nur auf die in reineren Karbonatgesteinen auftretenden Massen Bezug haben, sondern auch alle Karbonatbeimengungen in anderen Sedimenten mit umfassen.

Unsere Voraussetzungen für die Berechnung der Sedimentmengen bestanden in der Annahme, daß alles Natrium des Meerwassers aus Vorgängen der Verwitterung her stammt, und ferner in bestimmten Annahmen über die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Eruptivgesteine und der tonig-sandigen Sedimentgesteine. Wir wollen nun untersuchen, in welchem Sinne sich Abänderungen unserer Voraussetzungen auf das Ergebnis der Berechnungen auswirken würden.

Falls wir annehmen, daß im Meerwasser von Anfang an schon eine bestimmte Menge Natrium enthalten war, ergäbe sich eine entsprechende Verminderung der errechneten Mengen tonig-sandiger Sedimente und für Kalkstein, eine noch stärkere Verminderung für Dolomit. Nehmen wir beispielsweise an, daß die Hälfte des Natriumgehaltes im Meerwasser, also 1,49 kg Na je cm^2 Erdoberfläche, schon ursprünglich im Meerwasser enthalten gewesen sei, so würden sich folgende errechneten Sedimentmengen und Mächtigkeiten ergeben:

	Menge je cm^2	Mächtigkeit
Tonig-sandige Sedimentgesteine	78 kg	292 m
Kalkstein	6 "	22 "
Dolomit	0,3 "	1 "

Bei dieser Berechnung wird offenbar die Menge des Dolomits zu gering, im Verhältnis zu den kalkigen und tonig-sandigen Sedimenten.

Wir dürfen daher wohl schließen, daß mehr als die Hälfte des Natriums im Meerwasser aus den Vorgängen der Verwitterung stammt, und daß die Menge der bisher verwitterten Eruptivgesteine zwischen den Extremwerten 160 und 80 kg je cm^2 liegt, und zwar wohl näher an dem erstgenannten Wert.

Legen wir der Berechnung die durchschnittliche Zusammensetzung der Eruptivgesteine nach J. H. L. VoGT (siehe S. 124) zugrunde, so erhalten wir wesentlich geringere Mengen von Karbonatgesteinen, im Verhältnis zu den tonig-sandigen Sedimenten, und ein positiver Wert für Dolomit kann nur errechnet werden, wenn man den durchschnittlichen MgO -Gehalt der tonig-sandigen Sedimente niedriger als 2% ansetzt.

Zahlenmäßige Angaben über die maximale beobachtete Mächtigkeit der verschiedenen geologischen Formationen sind vor kurzem von SCHUCHERT¹⁾ veröffentlicht worden, hauptsächlich auf Grundlage

¹⁾ CH. SCHUCHERT, *Geochronology, or the Age of the Earth on the Basis of Sediments and Life*. National Research Council, Physics of the Earth IV, the Age of the Earth 1931, S. 10.

von Beobachtungen in den großen Geosynklinalen Nordamerikas. Es ist bemerkenswert, daß nach seinen Daten der prozentische Anteil der Karbonatgesteine an der Maximal-Mächtigkeit der Sedimente sehr viel größer erscheint (etwa 20 % der Gesamtmächtigkeit), als nach unseren Berechnungen auf geochemischer Grundlage.

Wir wollen in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse unserer ersten Berechnungsweise anwenden, unter dem Vorbehalte, daß es sich vorerst nur um die Ermittlung der Größenordnung des Stoffumsatzes und der Sedimentmengen handelt. Über die Größe des möglichen Fehlers mag folgendes bemerkt werden. Die Menge der bisher durch Verwitterungsvorgänge chemisch umgesetzten Mengen von Eruptivgesteinen, nach unserer Berechnung 160 kg je cm², kann höchstens um etwa 20 % zu niedrig sein (falls wir die Daten von VOGT für den Natrongehalt der Eruptivgesteine anwenden, an Stelle der Daten von CLARKE). Dementsprechend würde die berechnete Menge der tonig-sandigen Sedimente auf etwa 186 kg je cm² ansteigen, hingegen würde die Menge der Karbonatgesteine abnehmen. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, daß unsere Zahl für die umgesetzte Menge der Eruptivgesteine zu niedrig ist, weil wir unserer Berechnung den Grenzfall zugrunde gelegt haben, daß alles Natrium des Meerwassers den Vorgängen der Gesteinsverwitterung entstammt. Andererseits ist es, wie auf S. 135 gezeigt, sehr unwahrscheinlich, daß die umgesetzte Menge um einen so großen Betrag wie 50 % zu hoch berechnet ist. Wir dürfen daher annehmen, daß unsere Zahl für den Umsatz innerhalb der Grenzen -50% und $+20\%$ richtig ist.

Wir müssen uns selbstverständlich im folgenden auf solche Schlußfolgerungen beschränken, welche durch Fehler der angegebenen Größe nicht betroffen würden.

VII. Der Kreislauf des Kohlenstoffs

Der Kreislauf des Kohlenstoffs in der Natur ist gekennzeichnet durch eine Verkettung anorganischer und biochemischer Vorgänge großen Ausmaßes, deren allgemeine Bedeutung zuerst durch J. v. LIEBIG 1840 erkannt wurde. In neuester Zeit hat vor allem W. VERNADSKY dem Kreislaufe des Kohlenstoffs wichtige Untersuchungen gewidmet. Wir können den Kreislauf des Kohlenstoffs durch eine schematische Zeichnung (Fig. 2) darstellen, und wir können versuchen, die Bilanz dieser geochemischen Vorgänge zahlenmäßig zu erfassen.

Wir kennen die Mengen von Kohlendioxyd, die in Form von Kalkstein und Dolomit gebunden sind; es handelt sich hier um den bei weitem größten Vorrat an Kohlenstoff, der an den Kreislauf angeschlossen ist, 6,562 kg CO₂ per cm².

Ein zweiter großer Vorrat von Kohlenstoff besteht in der Kohle, dem Bitumen, Erdöl und Erdgas der Sedimentgesteine, gekennzeichnet durch den Umstand, daß der Kohlenstoff hier nicht in oxydierter Form vorliegt, sondern als freier Kohlenstoff oder in Form solcher Verbindungen, welche erst durch Zufuhr von Sauerstoff in Kohlendioxyd überführt werden. Gemeinsam für den letzteren Vorrat an Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen ist der Umstand, daß er ausschließlich ¹⁾ unter Mitwirkung der Biosphäre auf Kosten des Kohlendioxyds der Atmosphäre durch photosynthetische Vorgänge gebildet worden ist. Bei der Bildung organischer Kohlenstoffverbindungen auf Kosten des Kohlendioxydes der Atmosphäre durch Photosynthese müssen also zwei Atome Sauerstoff für jedes Atom elementaren Kohlenstoffs

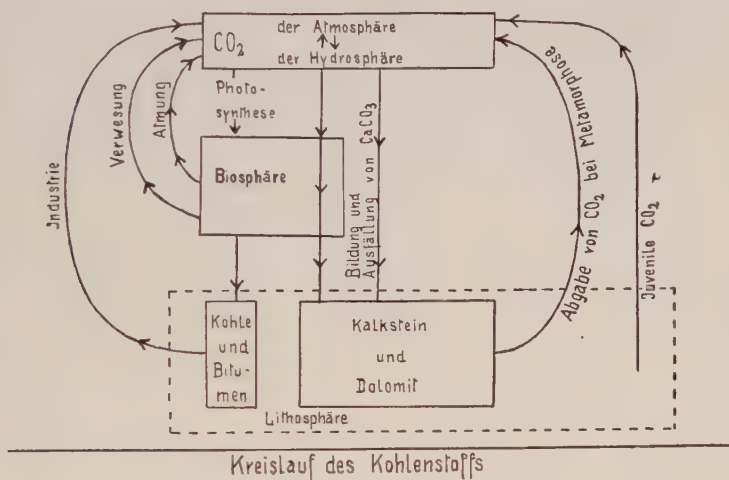


Fig. 2.

in Freiheit gesetzt werden. Eine zahlenmäßige Beziehung besteht daher zwischen den Vorräten an Kohle (und entsprechenden Kohlenstoffverbindungen) in Sedimentgesteinen und dem Sauerstoffgehalt der Atmosphäre. Für geochemische Berechnungen über den Kreislauf des Kohlenstoffs ist es daher erforderlich, auch eine Bilanz über die Geochemie des freien Sauerstoffs aufzustellen, wie weiter unten erörtert wird.

Der dritte Vorrat von Kohlenstoffverbindungen besteht in dem Kohlendioxyd der Atmosphäre und der Hydrosphäre. Der Kohlendioxydvorrat der Atmosphäre beträgt durchschnittlich 0,4 g je cm^2 der Erdoberfläche (vgl. S. 116). Dieser Gehalt ist nicht ganz kon-

¹⁾ Wir sehen hierbei ganz ab von den ganz geringen Mengen von Kohlenwasserstoffen und freiem Kohlenstoff, die in magmatischen Gesteinen primär enthalten sein können.

stant, sondern zeigt örtliche Schwankungen. Besonders A. KROGH (50, 51) hat gefunden, daß die Luft im Gebiete von Grönland einen besonders hohen Gehalt an Kohlensäure aufweist. KROGH hat vor allem die Frage erörtert, in welcher Weise der Kohlendioxydgehalt des Meerwassers und der Kohlendioxydgehalt der Atmosphäre miteinander verknüpft sind. TH. SCHLOESING (77) hatte schon 1880 darauf hingewiesen, daß der Kohlendioxydvorrat des Meerwassers sehr viel größer ist, als jener der freien Atmosphäre. Nach der Schätzung von A. KROGH ist im Meere 27 mal mehr Kohlendioxyd gelöst enthalten, als in der gesamten Atmosphäre der Erde, entsprechend einem Gehalt von 0,05 g CO_2 im Liter Meerwasser. Das Meerwasser wirkt deshalb ausgleichend auf jede Schwankung des Kohlendioxydgehaltes der freien Atmosphäre.

KROGH gibt bereits eine Tabelle über die Beziehungen zwischen dem Kohlensäuregehalt des Meerwassers und dem Kohlensäuregehalt der mit diesem Meerwasser im Gleichgewicht stehenden Luft. Später wurden sehr eingehende theoretische und experimentelle Untersuchungen über das Kohlensäuresystem im Meerwasser ausgeführt. Eine Kommission der Internationalen Meeresforschung, bestehend aus K. BUCH, H. W. HARVEY und H. WATTENBERG, hat den ersten Teil des endgültigen Berichtes (9), die Bearbeitung des Kohlensäuresystems bei konstanter Temperatur, 20° C, 1932 veröffentlicht. In dieser Monographie wird die Beziehung folgender Größen für Wasserproben verschiedenen Salzgehaltes mitgeteilt: 1. Wasserstoffionenkonzentration, 2. Kohlensäurepartialdruck, 3. Titrationsalkalinität und in einigen Fällen auch 4. der totale Kohlensäuregehalt. Weiterhin wird auch der Einfluß der Temperatur erörtert und die Temperaturkoeffizienten der Gleichgewichtskonstanten berechnet. Schließlich wird auch der Einfluß des Druckes behandelt, derart, daß man die Gleichgewichte auch für größere Meerestiefen berechnen kann.

Ehe wir eine zahlenmäßige Erfassung der Bilanz des Kohlenstoffs versuchen, müssen wir einige Daten aus der Bilanz des Sauerstoffs ermitteln. Wir müssen nämlich in Betracht ziehen, daß der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre nicht eine konstante, in sich abgeschlossene, Menge darstellt, sondern daß er Schwankungen unterworfen ist: einerseits wird er vermehrt durch Zufuhr von Sauerstoff mittels der Spaltung von Kohlendioxyd durch die photosynthetische Tätigkeit der Pflanzen, andererseits wird er ständig vermindert durch den Verbrauch an Sauerstoff für Vorgänge der Oxydation. Neben der Oxydation photosynthetisch entstandener Kohlenstoffverbindungen (Atmung und Verwesung) tritt in ganz großem Ausmaße ein Verbrauch an Sauerstoff in Erscheinung durch Oxydation anorganischer Komponenten der Gesteine, wie auch schon HÖGBOM (44) betont hat. Betrachten wir die Analysen unverwitterter Eruptivgesteine im Vergleiche mit den Analysen der Sedimente und des Meerwassers, so finden wir die

Belege für folgende wichtigste Vorgänge der Oxydation anorganischer Stoffe.

Verbindungen des zweiwertigen Eisens werden zu Verbindungen des dreiwertigen Eisens oxydiert. Wir sehen nämlich, daß im Mengenverhältnis $\text{FeO}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ eine beträchtliche Verschiebung eintritt. Weiterhin wird der Mangangehalt der Gesteine, der in den primären Eruptivgesteinen wesentlich in Form des zweiwertigen Mangans vorliegt, zu vierwertigem Mangan oxydiert. Schwefel, der in den primären Gesteinen vorwiegend in Form von Sulfiden vorgelegen hat, wird zu SO_3 oxydiert. Gleichzeitig werden die elektropositiven Bestandteile der Sulfidminerale (vor allem Eisen, Kupfer und Zink) zu Sauerstoffverbindungen dieser Metalle oxydiert. Wir können nun berechnen, wie groß die Menge an Sauerstoff ist, welche bei der Bildung der Sedimentgesteine auf Kosten primärer Eruptivgesteine bereits verbraucht worden ist: wir können diese Sauerstoffmenge als „fossilen“ Sauerstoff bezeichnen.

Folgende Tabelle zeigt die Gehalte an dreiwertigem und zweiwertigem Eisen in den Eruptivgesteinen und den Sedimentgesteinen, wobei wir nur unmetamorphe Sedimente betrachten, weil in den Phylliten und Glimmerschiefern, wie auch in Hornfelsen wieder eine Reduktion des dreiwertigen Eisens zu zweiwertigem in Erscheinung tritt. Wir vergleichen die Daten für Eruptivgesteine (nach CLARKE-WASHINGTON) mit der Durchschnittszusammensetzung von 78 Tonschiefern, 52 terrigenen Schlammproben (siehe auch S. 130) und einer Durchschnittsprobe von 253 Sandsteinen, analysiert von H. N. STOKES, zitiert bei CLARKE (13).

	Eruptivgesteine	Tonschiefer	Terrigener Schlamm	Sandstein
% Fe_2O_3	3,08	4,03	5,07	1,08
% FeO	3,80	2,46	2,30	0,30
Molquot. $\frac{2\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$	0,73	1,47	1,98	3,24

Im Tonschiefer ist der Molquotient $2\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{FeO}$ nahe an 1,5, im terrigenen Schlamm nahe an 2,0. Um den Quotienten 1,5 zu erreichen, muß 1,18% FeO der Eruptivgesteine zu Fe_2O_3 oxydiert werden, zur Erreichung des Quotienten 2,0 hingegen 1,61% FeO, und für den Quotienten 3,2 sogar 2,23% FeO.

Den Verbrauch an Sauerstoff für die Oxydationsvorgänge können wir nun für zwei Fälle berechnen, von denen einer uns den niedrigsten möglichen Wert liefern soll, der andere dem höchsten möglichen nahekommt.

Im ersten Falle rechnen wir mit dem Quotienten 1,5 als Endergebnis der Oxydation, im zweiten Falle mit 3,2. Im ersten Fall

soll nur etwa ein Drittel der Gesamtoxydation von Mangan und Schwefel im Endergebnis vorliegen (entsprechend einem merklichen Gehalte der Sedimente an Verbindungen des zweiwertigen Mangans und an Sulfidschwefel), im zweiten Falle soll mit der vollständigen Oxydation des gesamten Mangans und Schwefels gerechnet werden.

Fall I		Fall II	
	Verbrauch an Sauerstoff		Verbrauch an Sauerstoff
1,18 % FeO zu Fe_2O_3	0,131 %	2,23 % FeO zu Fe_2O_3	0,249 %
0,03 „ MnO zu MnO_2	0,008 „	0,12 „ MnO zu MnO_2	0,027 „
0,013 „ S zu SO_3	0,019 „	0,05 „ S zu SO_3	0,075 „
	0,16 %		0,34 %
Für 160 kg Eruptivgesteine	0,256 kg	Für 160 kg Eruptivgesteine	0,544 kg

Der heute noch frei vorhandene Sauerstoff der Atmosphäre beträgt 0,230 kg je cm^2 , der im Meerwasser gelöste freie Sauerstoff beträgt im Durchschnitt etwa 5 cm^3 per kg Meerwasser, entsprechend 0,002 kg je cm^2 der Erdoberfläche.

Die Gesamtmenge an freiem und fossilem Sauerstoff beträgt demnach im Falle I 0,488, im Falle II 0,776 kg je cm^2 .

Über die Herkunft dieses Sauerstoffs sind verschiedene Annahmen möglich. G. TAMMANN (83) hat vor kurzem die Anschauung geäußert, daß der Sauerstoff der Atmosphäre ganz oder größtenteils durch thermische Spaltung von Wasserdampf entstanden sei, zu einem Zeitpunkte, als die Temperatur der Dampfhülle der Erde noch 1500° betragen hat. Er findet Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis eines solchen Dissoziationsgleichgewichts und dem heutigen Sauerstoffgehalt der Atmosphäre; diese Beweisführung berücksichtigt aber nicht die großen Mengen „fossilen“ Sauerstoffs. Es besteht ferner die Möglichkeit, daß durch photochemische Spaltung von Wasserdampf ¹⁾ in der Atmosphäre freier Sauerstoff ständig auf Kosten von Wasser gebildet wird, wobei der entstehende Wasserstoff auch bei den heutigen Temperaturverhältnissen aus der Atmosphäre in den Weltraum entweichen könnte. Die wichtigste Quelle für die Bildung von Sauerstoff in der Atmosphäre ist aber zweifellos stets die Spaltung von Kohlendioxyd durch die photosynthetische Tätigkeit der Pflanzen gewesen. Falls die gesamte „fossile“ und heutige Sauerstoffmenge der Atmosphäre durch pflanzliche Tätigkeit auf Kosten von Kohlensäure gebildet worden ist, entspräche dies 0,183 oder 0,291 kg Kohlenstoff; verteilt

¹⁾ Die Möglichkeit einer photochemischen Spaltung von Wasserdampf in Sauerstoff und Wasserstoff unter dem Einflusse ultraviolettten Lichtes in höheren Schichten der Atmosphäre wurde durch COEHN erwiesen, siehe A. COEHN, Studien über photochemische Gleichgewichte IV, Das Lichtgleichgewicht Knallgas-Wasserdampf. Ber. d. D. chem. Ges. 1910, Bd. 43, S. 880.

auf 170 kg Sedimentgestein ergäbe dies einen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt der Sedimentgesteine von 0,11 oder 0,17 %, der wesentlich als Kohle und Bitumen vorliegt. Diese Zahl weist die richtige Größenordnung auf und ist somit eine starke Stütze für die Annahme, daß der Sauerstoff der Atmosphäre ganz oder größtenteils auf Kosten von Kohlendioxyd gebildet worden ist. Diese Berechnungsweise, für den Fall II, sollte uns eine obere Grenze für den Kohlenstoffgehalt der Sedimentgesteine liefern, soweit es sich um Kohlenstoff in Form von Kohle, Bitumen und anderen organischen Verbindungen handelt. Obzwar die Größenordnung, 0,2 % C, zweifellos mit der Erfahrung aus Analysen sedimentärer Gesteine in Übereinstimmung steht, müssen wir beachten, daß bei unserer Berechnung des fossilen Sauerstoffs noch keine Rücksicht auf solche Oxydationsvorgänge genommen ist, die an unvollständig verwitterten Sedimenten (vor allem Arkosen) stattgefunden haben, und vor allem auch an den Sand- und Schuttmassen, sowie an den Verwitterungszonen abflußloser Binnengebiete, welche durch unsere Berechnung der Sedimentmengen nicht erfaßt werden. Es erscheint denkbar, daß bei Berücksichtigung dieser Oxydationsvorgänge die Menge des fossilen Sauerstoffs und somit auch die Höchstmenge des Kohlenstoffs in Sedimentgesteinen noch etwas höher veranschlagt werden könnte; als oberste Grenze dürften wohl 0,5 % C in Betracht kommen.

Andererseits müssen wir beachten, daß in der Kohlenstoffmenge, welche wir errechnen, nicht nur der fossile Kohlenstoff der Sedimente enthalten ist, sondern auch der Kohlenstoff der lebenden Biosphäre und der Kohlenstoff solcher organischen Substanzen, welche mit der Biosphäre noch in Wechselwirkung stehen, wie der Humus der Bodenarten und die jüngsten Torfbildungen.

Der erste, welcher versucht hat, den Kreislauf des Kohlenstoffs, wenigstens der Größenordnung nach, zahlenmäßig zu erfassen, war A. G. HÖGBOM (44). Er machte bereits darauf aufmerksam, daß die in Form von Karbonatgesteinen gebundene Menge von Kohlendioxyd so erheblich sei, daß sie offenbar nicht in ihrer Gesamtheit ursprünglich gleichzeitig in der Atmosphäre vorhanden gewesen sein könne, denn unter einem Kohlensäuredruck von mehreren Atmosphären wäre organisches Leben auf der Erde ja keineswegs möglich. Man wird deshalb zu der Annahme geführt, daß die Hauptmenge des am Kreislauf beteiligten Kohlenstoffs erst nach und nach im Laufe der geologischen Zeiten der Atmosphäre zugeführt worden ist, und zwar kommt für eine solche Zufuhr juveniler Kohlenstoffverbindungen vor allem die Entgasung der Magmen in Betracht, in Form vulkanischer Exhalationen von Kohlendioxyd.

Über die Größenordnung der durchschnittlichen jährlichen zusätzlichen Zufuhr von Kohlendioxyd können wir folgende Betrachtung

anstellen. Wir berechnen zunächst die Summe der gesamten Kohlenstoffvorräte des äußeren Kreislaufs, berechnet als Kohlendioxyd.

Wir erhalten hierbei folgende Zahlen, je cm^2 der Erdoberfläche: In Karbonaten der Sedimentgesteine 6,562 kg CO_2 .

Als Kohle und Bitumen in Sedimentgesteinen, einschließlich des Kohlenstoffs der Biosphäre und des Humus, 0,67 bis allerhöchstens 3,1 kg CO_2 .

In der Atmosphäre 0,0004 kg CO_2 .

Im Meerwasser ¹⁾ 0,020 kg CO_2 .

Insgesamt erhalten wir 7,3—9,7 kg CO_2 je cm^2 .

Diese Menge muß im wesentlichen erst im Laufe der geologischen Geschichte an die Erdatmosphäre geliefert sein, das heißt im Laufe von etwa 1,5—2 Milliarden Jahren. Es hätte demnach die durchschnittliche jährliche Zufuhr etwa 3 γ bis höchstens 6 γ juvenile CO_2 je cm^2 betragen.

Es ist von Interesse, diese Zufuhr von juveniler Kohlensäure mit jener Menge von Kohlendioxyd zu vergleichen, welche durch Verbrennung von Steinkohle, Braunkohle und Kohlenwasserstoffen jährlich der Atmosphäre zugeführt wird. Nach den Daten in M. MEISNER'S Weltmontanstatistik (64) wurden 1380 Millionen ton Kohle und 187 Millionen ton Erdöl 1929 gewonnen, entsprechend einer Menge von Kohlendioxyd von etwa $4,2 \cdot 10^9$ ton. Dies ergibt etwa 800 γ je cm^2 der Erdoberfläche, also eine sehr viel höhere Zahl, als die durchschnittliche Zufuhr juvenilen Kohlendioxydes: hierzu kommt noch die Kohlensäuremenge aus der Verbrennung von Holz und Torf.

Besonders von Sv. ARRHENIUS (1) ist darauf hingewiesen worden, daß Schwankungen des Kohlendioxydgehaltes der Atmosphäre von großem Einfluß auf die klimatischen Verhältnisse der Erdoberfläche sein dürften. Insbesondere ist dieser Umstand als Ursache klimatischer Veränderungen in früheren geologischen Zeiten (Eiszeiten und Zeiten tropischen Pflanzenwuchses in höheren Breiten) vermutet worden (1, 11, 22). Es ist auch auf den Einfluß hingewiesen worden, den die Kohlendioxydzufuhr durch die industrielle Tätigkeit des Menschen auf den Kohlendioxydgehalt der Atmosphäre ausüben wird. Die Zufuhr an Kohlendioxyd aus Brennstoffen würde mit dem heute gültigen Ausmasse menschlicher Tätigkeit in etwa 300 Jahren zu einer Verdoppelung des Kohlendioxydgehaltes der freien Atmosphäre führen, wenn nicht durch den ausgleichenden Einfluß des Meerwassers dieser Zuwachs größtenteils abgefangen würde.

Für die quantitative Erfassung des Kreislaufs des Kohlenstoffs wäre es besonders wichtig, über die absolute Menge des Kohlenstoffs

¹⁾ Nach den Angaben (50 u. 51) erhält man 13 g CO_2 für den CO_2 -Gehalt des Meerwassers; neuere Daten führen zu etwa 20 g je cm^2 der Erdoberfläche. Grundlegende Ergebnisse über den Kohlendioxydhaushalt des Meerwassers finden sich in dem soeben erschienenen Werke von H. WATTENBERG (siehe S. 117, Fußnote 1).

in der Gesamtheit der Biosphäre zahlenmäßige Daten zu erhalten, vor allem aber den jährlichen Kohlenstoffumsatz der Biosphäre zu erfassen. Für die Pflanzenproduktion auf landwirtschaftlich nutzbar gemachten Gebieten liegen Zahlen vor, welche dartun, daß die jährlich je Flächeneinheit von den Pflanzen assimilierte Menge Kohlendioxyd unter besonders günstigen Umständen ähnliche Größe erreichen kann, wie der Kohlendioxydgehalt der Atmosphäre über der gleichen Flächeneinheit. In vielen Fällen entspricht der jährliche Zuwachs der Pflanzen einem Verbräuche von etwa einem Zehntel der Kohlendioxydmenge der Atmosphäre je Flächeneinheit. Hierbei ist aber zu beachten, worauf ganz besonders H. LUNDEGÅRDH (58) aufmerksam gemacht hat, daß diese Kohlensäure zum großen Teil nicht dem Vorrat der freien Atmosphäre entnommen wird, sondern von jenen Kohlensäuremengen geliefert wird, welche durch Vorgänge der Atmung und Verwesung dem Erdboden entströmen. Über den Umsatz an Kohlendioxyd durch die Photosynthese der Pflanzen im Meere liegt eine zusammenfassende Darstellung von ATKINS vor. Man kann die Produktion an Pflanzenplankton zahlenmäßig verfolgen, indem man die Alkalinität des Meerwassers mißt und aus der Zunahme der Alkalinität den Verbrauch an Kohlendioxyd ableitet. Für die Meeresgebiete südwestlich von England am Eingang des Ärmelkanals gibt er als Jahresproduktion an Diatomeen $0,14 \text{ g je cm}^2$ an, mit einem Gehalte von 15 % Kohlenhydrat, also eine Zahl, welche von der Größenordnung eines Zehntels der Kohlendioxydmenge der Atmosphäre je cm^2 ist. Die gleiche Zahl kann er aus dem jährlichen Verbräuche an Phosphat ableiten und es ist bereits möglich, die jährliche Bilanz über den Verbrauch an Kohlendioxyd und an Phosphat für mehrere Jahre zu verfolgen. Über den Kohlensäure- und Sauerstoffhaushalt der Ostsee liegen eingehende Untersuchungen von B. SCHULZ vor¹⁾.

Man darf bereits sagen, daß der jährliche Umsatz an Kohlendioxyd sicher nicht ganz klein ist, verglichen mit dem Kohlendioxydvorrat der Atmosphäre, hingegen klein gegen den großen, im Meere gelösten Vorrat an Kohlendioxyd. Bereits HÖGBOM hat in seiner klassischen Arbeit über den geochemischen Kreislauf der Kohlensäure auf den Umstand hingewiesen, daß die jährlich von Organismen umgesetzte Menge der Kohlensäure an Größe nicht sehr verschieden von dem Gesamtvorrat der Atmosphäre sein könne.

Zu dem Kreislaufe des Kohlendioxydes gehört als wichtige Erscheinung auch die Rückkehr von Kohlendioxyd der Karbonatgesteine zum Meere, beziehungsweise zur Atmosphäre. Hier treten besonders zwei Vorgänge in Erscheinung, die Lösung von Karbonatgesteinen durch Gewässer, unter Mitwirkung der atmosphärischen Kohlensäure,

¹⁾ Siehe B. SCHULZ, Hydrographische Beobachtungen insbesondere über die Kohlensäure in der Nord- und Ostsee im Sommer 1921. Archiv der Deutschen Seewarte 1922, Bd. 40, Nr. 2.

und die Entbindung von Kohlendioxyd aus Karbonatgesteinen durch Vorgänge thermischer Metamorphose. Erstere Erscheinung äußert sich in dem Transport gelöster Karbonate durch Flüsse zum Meere, letztere durch das Auftreten von (nichtjuvenilen) Exhalationen von Kohlensäure. Über den Transport von Kohlendioxyd in fließenden Gewässern kann man eine zahlenmäßige Vorstellung erhalten, wenn man Zusammensetzung und jährliche Menge der zum Meere fließenden Gewässer feststellt und die transportierte Menge Kohlendioxyd wieder auf je 1 cm² der gesamten Erdoberfläche bezieht. Nach den Daten von CLARKE ergibt sich hierbei etwa 100 γ CO₂ je cm².

VIII. Der Kreislauf des Jods

Die Geochemie des Jods ist in neuerer Zeit Gegenstand besonders eingehender und umfassender Forschungsarbeiten gewesen. Das Jod ist in besonders ausgeprägtem Grade ein biophiles Element, welches für die Vorgänge des Lebens unumgänglich notwendig ist. Die Erforschung der Geochemie des Jods ist deshalb zum sehr großen Teil von seiten der Biochemiker in Angriff genommen, insbesondere nachdem man einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen und dem Mangel an Jod einerseits und dem Auftreten bestimmter Erkrankungsarten (Kropf) andererseits kennen gelernt hat. Nach den klassischen älteren Arbeiten von PREVOST, CHATIN und GAUTIER war es besonders TH. v. FELLEBERG (20) in Bern, der die Geochemie des Jods unter besonderer Berücksichtigung der Beziehungen zur Häufigkeit des Kropfes weitgehend erforscht hat und dem wir auch zum großen Teil die erforderlichen analytischen Methoden zur quantitativen Bestimmung kleinster Jodmengen verdanken. Seine geochemischen Arbeiten beschäftigen sich hauptsächlich mit dem Kreislauf des Jods in Atmosphäre, Hydrosphäre und jenem aller obersten Teil der Lithosphäre, der schon mit Atmosphäre und Hydrosphäre in Wechselwirkung steht. Um über das Verhalten des Jods in den früheren Stadien geochemischer Sonderungsvorgänge ein sicheres Material zu verschaffen, wurden durch TH. v. FELLEBERG und G. LUNDE Bestimmungen von Jod in Meteoriten, Sulfiderzen und in einer Reihe besonders ausgewählter magmatischer Gesteine durchgeführt. Bei letzteren Untersuchungen¹⁾ wurde besondere Sorgfalt darauf angewandt, ein ganz unverwittertes und nicht sekundär verunreinigtes Gesteinsmaterial zur Analyse zu beschaffen; zum Beispiel wurden aus großen Blöcken von Tiefengesteinen, die im Steinbruchsbetrieb gewonnen waren, nur die inneren Partien der Blöcke zur Analyse angewandt. Die biochemische Bedeutung des Jods gab Veranlassung zu ausgedehnten Untersuchungen

¹⁾ TH. v. FELLEBERG u. G. LUNDE, Beitrag zur Geochemie des Jods. Biochem. Zeitschr. 1926, Bd. 175, S. 162.

über das Vorkommen des Jods in Ackerböden und über die Aufnahme von Jod durch die Pflanzen. Es sei hier besonders an die Arbeiten von BECK (3), CAUER¹⁾ (10), GAUS und GRIESSBACH (24), sowie von SCHARER und SCHWAIBOLD (74, 75, 76) in Deutschland erinnert, und an Arbeiten von McLENDON in Nordamerika. Wir können einige Ergebnisse der Untersuchungen über das Vorkommen des Jods in der anorganischen Natur in der nachfolgenden Tabelle kurz zusammenfassen, in welcher die Jodgehalte in γ per kg dargestellt sind.

	J per kg	Mittel
Eruptivgesteine	200—400 γ	300 γ
Meerwasser ²⁾	10—70 "	50 "
Luft	0,1—1,5 "	0,5 "
Regenwasser	0,2—5 "	1—3 "
Flußwasser	0,3—5 "	0,7—3 "
Boden	600—8000 "	2000 "

Wie man sieht, wird das Jod im Ackerboden sehr stark angereichert, und zwar offenbar durch selektive Adsorption von Jod und Jodverbindungen, welche durch das Regenwasser oder auch direkt aus der Atmosphäre dem Boden zugeführt werden. Anscheinend tritt hierbei nach und nach ein Sättigungsgleichgewicht des Bodens an Jod ein, derart, daß schließlich die jährlich zugeführten und die wieder ausgelaugten Mengen von Jod einander gleich werden. Nach Maßgabe der Niederschlagsmengen können wir errechnen, daß zur Herstellung dieser Sättigung in vielen Fällen Zeiträume von tausenden von Jahren erforderlich sein dürften. Wir müssen daher erwarten, daß in Gegenden geologisch junger Böden, welche auf Kosten jodarmer magmatischer Gesteine gebildet worden sind, wie etwa in den Gebieten ehemaliger Vereisung in Nordeuropa und Nordamerika, eine Sättigung des Bodens an Jod noch nicht in allen Fällen erreicht worden ist. Nach Untersuchungen von WILKE-DÖRFURT (93) ist das Jod in manchen Sedimenten, welche unter wesentlicher Beteiligung von Organismen entstanden sind, besonders stark angereichert, so in vielen Phosphatsedimenten und in Steinkohlen.

Die stärkste Anreicherung an Jod finden wir in den Salpeterböden Chiles, eine Anreicherung, die so bedeutend ist, daß aus den

¹⁾ Von ganz besonderer Wichtigkeit ist eine Monographie von H. CAUER, Das Jod der Luft, sein chemisches Verhalten und seine bioklimatische Bedeutung (Veröffentlichungen aus dem Gebiete der Medizinalverwaltung, Bd. 39, S. 468, 1933), die während der Drucklegung dieser Abhandlung erschienen ist.

²⁾ Der Jodgehalt des Meerwassers ist bisher meist zu 20 γ je Liter angenommen worden, vor allem nach den Daten v. FELLEBERG's. Diese Daten stammen aber vorwiegend aus Küstengewässern, in denen der Gehalt an Jod, offenbar unter der Mitwirkung von Organismen, gegenüber dem Jodgehalte des Ozeanwassers herabgemindert ist. Die neuesten Daten von REITH, an Wasserproben aus den großen Ozeanen, führen zu einem Durchschnittsgehalte von 50 γ Jod im kg Meerwasser, siehe J. F. REITH, Der Jodgehalt von Meerwasser. Rec. Trav. Chim. Pays-Bas 1930, Bd. 49, S. 142.

Laugen der Salpeterindustrie etwa 70 % des Weltbedarfs¹⁾ an Jod gewonnen wird, trotzdem nur etwa ein Zehntel der in den Laugen enthaltenen Jodmenge zur Gewinnung gelangt. Das Jod findet sich in den Salpetererden und Salpeterablagerungen vor allem in Form von Salzen und komplexen Verbindungen der Jodsäure, beispielsweise in Form von Calciumjodat. Es ist wahrscheinlich, daß die Anreicherung des Jods in ursächlichem Zusammenhang mit den besonderen klimatischen Voraussetzungen steht, welche in den Salpetergebieten Chiles zu der Bildung und Anreicherung hochoxydierter Minerale führen. Es herrscht in den Salpeterablagerungen das höchste Oxydationspotential, das wir in irdischen Lagerstätten überhaupt kennen; es ist wahrscheinlich, daß die Oxydation des Jods zu Jodat den freien Austausch des Jods zwischen Erdboden und Atmosphäre in der Weise beeinflusst, daß zwar Jod ozeanischer Luftmassen von der Atmosphäre in den Erdboden wandert, wie dies auch anderorts der Fall ist, daß aber die Rückkehr des Jods zur Atmosphäre unterbunden ist und auf diese Weise eine besonders starke metasomatische Anreicherung des Jods aus der Atmosphäre in den Salpeterböden stattfindet.

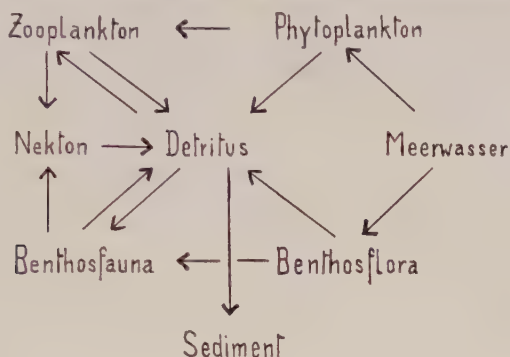
Entsprechend dem hohen Molekulargewichte des Joddampfes ($J_2 = 254$, gegenüber $N_2 = 28$ und $O_2 = 32$) sollte die Jodmenge in der Luft mit steigender Meereshöhe sehr stark abnehmen. Die Untersuchungen von CAUER (siehe Fußnote 1, S. 145) zeigen, daß dies praktisch nicht der Fall ist, offenbar wegen der starken Durchmischung der Luft durch Winde, daß hingegen der Jodgehalt in Luftmassen aus Meeresgebieten sehr viel höher ist, als in Luftmassen kontinentaler Herkunft. An der deutschen Nordseeküste fand CAUER meist 1—3 γ Jod per kg Luft, also erheblich höhere Werte als die auf S. 145 angegebenen Daten nach Messungen in kontinentalen Gebieten.

Wir können also bei dem Jod, angeschlossen an den großen Kreislauf der Sedimentgesteine, einen besonderen Kreislauf feststellen, welcher dem Kreislauf der Gewässer analog ist, bestehend in der Verdampfung des Jods aus dem Meerwasser und aus den Böden, und endlich den Rücktransport des Jods zum Meere in den fließenden Gewässern. Vom Kreislauf des Wassers unterscheidet sich dieser Teilkreislauf des Jods durch den Umstand, daß sehr beträchtliche Jodmengen in den Böden zurückgehalten werden. Ähnlich wie bei dem Kreislauf des Wassers sind kleine Zyklen des Jods dem größeren Kreislauf örtlich und zeitlich (tägliche Periode) zugeordnet.

Im Meere ist das Jod einem zweiten wichtigen Sonderkreislauf unterworfen, den wir in Figur 3, nach Untersuchungen von K. CLOSS (16), darstellen. Über diesen Kreislauf des Jods im Meere liegen umfassende

¹⁾ 30 % des Weltbedarfs werden durch die Jodgewinnung aus der Asche von Meerespflanzen und durch die Jodgewinnung aus jodreichen Mineralwässern (Holländisch-Indien) gedeckt.

Untersuchungen vor, mit besonderer Berücksichtigung der biochemischen Vorgänge. Altbekannt ist die starke Anreicherung des Jods in



Organischer Kreislauf des Jods im Meere,
nach K. Closs

Fig. 3.

vielen Meeresalgen. Die folgende Tabelle bringt die Jodgehalte einiger Meeresorganismen, verglichen mit dem Jodgehalt des Meerwassers:

Jodgehalte einiger Meeresorganismen

	Jodgehalt in γ je kg
Meerwasser	50
<i>Zostera marina</i>	61 000— 350 000
<i>Laminaria digitata</i>	4 000 000— 6 000 000
Spongien	7 000—20 000 000

Man erkennt, daß durch biochemische Vorgänge eine Anreicherung des Jods in sehr erheblichem Grade stattfinden kann, bis zu dem Anreicherungsfaktor 10^5 .

IX. Geochemische Bilanz für einige Elemente

Unsere heutigen Erkenntnisse über Menge und Verteilung verschiedener Elemente in den Gesteinen und Gewässern der Erde erlauben bereits die Aufstellung von Stoffbilanzen. Wir haben in dem vorigen Kapitel versucht, Material für die Bilanzen des Kohlenstoffs (einschließlich des Sauerstoffs), sowie des Jods aufzustellen. Für eine große Reihe von Elementen können wir bereits eine Stoffbilanz in dem Sinne aufstellen, daß wir die bei der Verwitterung magmatischer Gesteine angelieferten Mengen kennen und die Verteilung dieser Mengen zwischen den Sedimentgesteinen und dem Meerwasser festgestellt haben.

Als erstes Beispiel sei hier die Bilanz für die Alkalimetalle

Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium und Cäsium gebracht (34). Die Mengen dieser Elemente in den primären Gesteinen sind folgende:

Lithium	0,005 %
Natrium	2,83 „
Kalium	2,60 „
Rubidium	0,03 „
Cäsium	0,001 „

Bei der Verwitterung werden diese Elemente zunächst in wasserlösliche Verbindungen übergeführt (Karbonate, Chloride, Sulfate), und es werden die Ionen der Alkalimetalle durch die fließenden Gewässer dem Meere zugeführt. Gleichzeitig tritt aber ein Vorgang ein, welcher Ionen der Alkalimetalle aus dem gelösten Zustande wieder entfernt, nämlich die Sorption an dem feinverteilten Schlamm der tonigen Verwitterungsprodukte und der Hydrolysenprodukte, sowie auch an den entsprechenden Eisenhydroxyden. Auf diese Weise werden vorzugsweise jene Alkalimetalle, deren Ionen am stärksten adsorbiert werden, der Lösung entzogen. Bekanntlich werden die Ionen des Kaliums viel stärker adsorbiert, als jene des Natriums; daher kommt es im Meerwasser vorwiegend zu einer Ansammlung von Natriumionen, während das Kalium durch Adsorption weitgehend aus der Lösung entfernt wird. Über die Sorption von Kalium an tonigen Sedimenten und über das unterschiedliche Verhalten von Natrium und Kalium bei der Bodenbildung sei auf zwei eingehende Untersuchungen von W. NOLL¹⁾ und H. JENNY²⁾ verwiesen. Versuche zeigen, daß Rubidium und Cäsium noch stärker an Tonschlamm adsorbiert werden als Kalium. W. NOLL (69) hat die geochemisch wichtigen Sorptionsvorgänge vom theoretischen Standpunkte eingehend erörtert und kommt zu dem Ergebnis, daß vor allem die Polarisierungseigenschaften der Ionen (unter Voraussetzung gleicher Valenz) für die Sorption maßgeblich sind. Es steht in Übereinstimmung hiermit, daß die Ionen der seltenen Alkalimetalle Lithium, Rubidium und Cäsium merklich stärker adsorbiert werden, als jene des Kaliums, diese wiederum sehr viel stärker als jene des Natriums. Solche Ionen, welche besonders stark an Tonschlamm und an Eisenhydroxyd adsorbiert werden, gelangen dementsprechend nicht zur Anreicherung im Meerwasser. Entweder verbleiben sie an Ort und Stelle an den Verwitterungsböden durch Adsorption gebunden, oder werden aus dem Flußwasser, beziehungsweise aus dem Meerwasser durch Adsorption vor allem an Tonpartikeln weitgehend entfernt.

¹⁾ W. NOLL (68); W. NOLL hat die Bildung von Muskovit auf Kosten des sorbierten Kaliums auch durch direkte Synthese beweisen können, siehe W. NOLL, Hydrothermale Synthese des Muskovits, Ein Beitrag zur Frage der Serizitbildung in Tonschiefern. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, 122.

²⁾ H. JENNY, Behavior of Potassium and Sodium during the Process of Soil Formation. Univ. of Missouri, Agricult. Exp. Station 1931, Research Bull. Nr. 162.

Die folgende Tabelle zeigt uns, wie groß die Menge jener Elemente ist, welche im Meerwasser verbleibt, in Prozenten des gesamten Umsatzes.

Stoffbilanz der Alkalimetalle im Meerwasser, berechnet je 1 kg Meerwasser

Dem Kreislauf zugeführt		Im Meere noch vorhanden					
Na	16,8 g	10,7	g	entspr. 66	% d. zugef. Menge		
K	15,0 "	0,37	"	"	2,5	"	"
Li	0,03 "	0,00007	"	"	0,2	"	"
Rb	0,2 "	0,0002	"	"	0,1	"	"
Cs	0,006 "	0,000002	"	"	0,03	"	"

Wir können die Richtigkeit unserer Bilanz am Kaligehalt der tonig-sandigen Sedimente prüfen. Berechnen wir die Menge des Kaliums, welche durch Verwitterung der Eruptivgesteine dem Meere zugeführt worden ist, ziehen wir hiervon den Kaliumgehalt des heutigen Meerwassers ab, und berechnen wir den Rest auf die tonig-sandigen Sedimente, so erhalten wir, unter Voraussetzung von 3,13 K_2O in den Eruptivgesteinen (CLARKE-WASHINGTON) den Gehalt 3,15 % K_2O für die tonig-sandigen Sedimente, in befriedigender Übereinstimmung mit den auf S. 130 angeführten Zahlen.

Sodann versuchen wir, eine solche Bilanz für das Element Bor (32) aufzustellen. Folgende Tabelle bringt die vorliegenden Daten, berechnet je 1 kg Meerwasser:

Dem Kreislauf zugeführt	Im Meere noch vorhanden	In Sedimentgesteinen gebunden
0,6 mg	30 mg	300—600 mg

Wie man aus dieser Bilanz ersieht, sind die im ganzen im Meere noch vorhandenen Mengen an B_2O_3 größer, als jene, welche dem Meere durch Verwitterung von Eruptivgesteinen zugeführt worden sind¹⁾; noch viel größer ist die Menge von B_2O_3 , die im Laufe der geologischen Zeiten dem Meerwasser durch die Sedimentbildung (vor allem in tonigen Sedimenten) entzogen worden ist. Wir können aus diesem Ergebnis den Schluß ziehen, daß der Gesamtumsatz an Borsäure durchaus nicht auf jene Mengen beschränkt ist, welche aus verwitterten Eruptivgesteinen stammen können, sondern daß dem Meerwasser Borsäure anderer Herkunft zugeführt sein muß. Hierfür kommen folgende Möglichkeiten in Betracht: einerseits könnte Borsäure in erheblichem Ausmaße durch vulkanische Exhalationen und juvenile Quellen direkt dem Kreislauf zugeführt sein, als Entgasungsprodukt magmatischer Massen; andererseits wäre die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, daß Borverbindungen schon in den ursprünglichen Entgasungsprodukten des Erdballes, welche die Uratmosphäre bildeten,

¹⁾ In einer soeben erschienenen Mitteilung von K. BUCH, Boric Acid in Sea Water and its Effect on the Carbon Dioxide Equilibrium, Nature 1933, Bd. 131, S. 688 wird der Borsäuregehalt des Meerwassers zu 15 mg je Liter angegeben. Auch diese Zahl ist um ein vielfaches höher, als die Borsäuremenge, welche dem Meere durch die Verwitterung von Eruptivgesteinen zugeführt sein kann.

sehr stark vertreten gewesen sind, derart, daß im Meere von Beginn an sehr große Mengen von Borverbindungen gelöst enthalten waren. Dann würde die Bilanz des Bors im äußeren Kreislauf bisher vor allem in einem Verbrauch des ursprünglichen Borvorrates des Meeres bestehen, dem nur eine geringfügige Zufuhr von Bor aus verwitternden Eruptivgesteinen gegenüber steht. Ich möchte annehmen, daß die letztere Möglichkeit, also eine ursprüngliche Anreicherung des Bors im Meerwasser, vor allem in Betracht kommt, daneben in geringerem Ausmaße noch eine Zufuhr von Bor aus jüngeren Entgasungsprodukten der Magmen.

Ganz ähnlich liegt der Fall auch beim Chlor, dessen Menge im Meerwasser so groß ist, daß man dieselbe nicht aus den bisher verwitterten Eruptivgesteinen ableiten kann. Es wäre denkbar, daß Bor und Chlor in der ursprünglichen Atmosphäre unseres Planeten vorgelegen haben, vielleicht zum Teil in Form des flüchtigen Bortrichlorides, wie CL. PETERS zuerst vermutet hat.

Die Borsäuremengen, welche dem Meerwasser in den Ablagerungen der Sedimentgesteine entzogen werden, werden bei Vorgängen der Gesteinsmetamorphose größtenteils in Form des sehr schwer löslichen und auch mechanisch widerstandsfähigen Minerals Turmalin gebunden und werden auf diese Weise dauernd dem Kreislauf der gelösten Stoffe entzogen.

Auch für die Phosphorsäure können wir bereits eine Bilanz aufstellen. Wir legen hierbei für den durchschnittlichen Phosphorsäuregehalt der Eruptivgesteine die von J. H. L. Vogt (87) berechnete Zahl (0,18 % P_2O_5) zugrunde. Folgende Tabelle stellt die Bilanz dar, für je 1 kg Meerwasser.

Dem Kreislauf zugeführt	Im Meere noch vorhanden
1036 mg	0,000—0,175 mg

Wir erkennen, daß Phosphorsäure nur zum sehr geringen Teil im Meerwasser verbleibt, da dieser lebenswichtige Stoff von den Organismen weitgehend gebunden und so dem Kreislauf entzogen wird. Über den Phosphorhaushalt im Meer gibt es sehr eingehende Untersuchungen, welche die Voraussage bestätigt haben, daß Phosphor den oberen Schichten des Meerwassers weitgehend biochemisch entzogen wird¹⁾ und durch absinkende Organismen und Organismenreste in den tieferen Wassermassen angesammelt wird (vgl. die Tabelle S. 119).

Für eine quantitative Aufstellung des Schwefelhaushalts fehlen uns noch genügende Daten über den durchschnittlichen Gehalt der Eruptivgesteine und der Sedimente an Schwefel.

Das Selen ist in magmatischen, pneumatolytischen und hydro-

¹⁾ Eine Untersuchung, welche diesen Zusammenhang sehr klar zeigt, ist: E. BENTSCHEL u. H. WATTENBERG, Plankton und Phosphat in der Oberflächenschicht des Südatlantischen Ozeans. Ann. d. Hydrogr. u. Maritim. Meteorologie 1930, Bd. 58, S. 273.

thermalen Sulfiderzen ein ständiger Begleiter des Schwefels, ebenso in den Schwefelablagerungen vulkanischer Exhalationen. Hingegen fehlt das Selen in den Meeresablagerungen von Sulfaten und in solchen Schwefellagerstätten, welche durch Reduktion solcher Sulfate entstanden sind, oder es ist nur in geringsten Mengen hierin nachweisbar (35). Im äußeren Kreislauf findet demnach eine Abtrennung des Selens vom Schwefel statt; als Ursache dieser Abtrennung ist der Umstand erkannt worden, daß für die Bildung des Selenat-Ions ein sehr hohes Oxydationspotential erforderlich ist, während die Oxydation von Schwefel zum Sulfat-Ion schon bei dem gewöhnlichen Oxydationspotential irdischer Verwitterungsvorgänge stattfindet.

Für eine ganze Reihe von Metallen und Metalloiden kann man in ähnlicher Weise, wie etwa für die Alkalimetalle, bereits eine Bilanz des äußeren Kreislaufs aufstellen. Wir bringen in der folgenden Tabelle einige Zahlen aus solchen Bilanzen.

Je kg Meerwasser zugeführt			Je kg Meerwasser noch vorhanden		
Cu	58	mg	0,01	mg, oder 0,02 ‰	
Zn ¹⁾	116	"	0,07	" " 0,06 "	
Pb	6	"	?	" " — "	
As	4	"	0,02	" " 0,5 "	
Ag	0,06	"	0,0003	" " 0,5 "	

Es ist bemerkenswert, daß von den Metallen Kupfer, Zink und Blei, ebenso auch von dem Arsen, welche dem Kreislauf zugeführt worden sind, nur ganz geringe Anteile im Meerwasser verbleiben. Es ist dies eine Erscheinung von größter biochemischer Bedeutung; falls die genannten Elemente überwiegend im Meere zur Ansammlung gelangt wären, käme das Meerwasser nicht als Lebensraum für höhere Organismen in Betracht. Es findet also im äußeren Kreislauf eine weitgehende „Entgiftung“ der Gewässer statt, und zwar offenbar durch Vorgänge der Sorption an dem Schlamme der tonigen Verwitterungsprodukte und der Eisenhydroxyde. Dementsprechend finden wir solche Elemente wie Arsen (und auch das Germanium) in sedimentären oxydischen Eisenerzen merklich angereichert.

Die Aufstellung derartiger Bilanzen für die einzelnen Elemente gibt uns die Möglichkeit, die Verteilung der Elemente bei den Vorgängen des sedimentären Kreislaufs übersichtlich darzustellen und die Anreicherungsverfahren bei der Bildung sedimentärer Lagerstätten zahlenmäßig zu verfolgen.

Wir können, nach dem Verhalten im geschilderten Kreislaufe, die Elemente in eine Anzahl von Gruppen einteilen, wie die folgenden Beispiele erläutern werden.

In den schwerlöslichen Rückständen der hydrolytischen Spaltungsvorgänge sammeln sich, neben Tonerde und Siliciumdioxid, die Sauer-

¹⁾ Nach den Daten von I. u. W. NODDACK (67).

stoffverbindungen von Beryllium (teilweise auch Magnesium), Scandium, Gallium, dreiwertigem Vanadium und Chrom, vierwertigem Titan, Zirkonium, Cerium, Hafnium, Thorium und Zinn, fünfwertigem Niob und Tantal.

Bei Verwitterung unter niedrigem Oxydationspotential gehen Eisen und Mangan in zweiwertiger Form, vorwiegend als Bikarbonate, in Lösung, und werden im allgemeinen erst bei Zunahme des Oxydationspotentials in Form höherer Oxyde und Hydroxyde wieder ausgeschieden.

Die Elemente Nickel, Kobalt, Kupfer, Zink, Blei werden bei den Vorgängen der Verwitterung zwar in echte Ionenlösung übergeführt, aber durch Sorption an den Rückständen der hydrolytischen Spaltung und vor allem auch an den wieder aushydrolysierten Hydroxyden des Eisens und des Mangans gebunden; das gleiche gilt auch für die komplexen Ionen des Germaniums, Arsens, Molybdäns und Wolframs.

Unter dem Einflusse besonders hoher Oxydationspotentiale können Vanadium und Chrom in Form von Ionen der Vanadin- und Chromsäuren mobilisiert und derart aus der Vergesellschaftung der Hydrolyserückstände ausgelaugt werden.

Die Ionen der Erdalkalimetalle Calcium, Strontium, Baryum gehen bei den Vorgängen der Verwitterung größtenteils in Lösung, zum Teil gilt dies auch für das Magnesium.

Das Yttrium und die Lanthaniden dürften sich zwischen den unlöslichen Rückständen und der Ionenlösung nach Maßgabe der Basizität der betreffenden Hydroxyde verteilen.

Über die Verteilung der Alkalimetalle, insbesondere über die Bindung dieser Elemente durch Vorgänge der Sorption, ist oben schon berichtet worden.

Endlich ergibt uns die Bilanz, daß manche Elemente (vor allem Bor und Chlor) offenbar schon ursprünglich im Meerwasser angereichert waren; solche Elemente können dann als Leitelemente von Meeressedimenten oder von deren Umlagerungsprodukten betrachtet werden.

X. Schriftenverzeichnis

Das folgende Verzeichnis umfaßt wesentlich solche Werke und Abhandlungen, welche für die oben erörterten quantitativen geochemischen Betrachtungen wichtig erscheinen. Aber auch für diese Teilgebiete der Geochemie erhebt das Verzeichnis keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Ergänzung des Verzeichnisses ist geplant, in Verbindung mit einer zusammenfassenden Darstellung anderer ausgewählter Abschnitte der Geochemie.

1. Sv. ARRHENIUS, Über den Einfluß des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes auf die Temperatur der Erdoberfläche. Bihang Kongl. Svensk. Vetensk. Akad. Handl. 1896, Bd. 22, Nr. 1.
2. W. R. G. ATKINS, The Chemistry of Sea Water in Relation to the Productivity of the Sea. Science Progr. 1932, Nr. 106, S. 298.

3. J. BECK, Beiträge zum Studium der Bindung des Jods im Boden. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde A 1930, Bd. 16, S. 57.
4. G. BERG u. F. BEHREND, Chemische Geologie. Stuttgart 1927.
5. K. G. BISCHOF, Lehrbuch der chemischen Geologie. Bonn 1847—54.
6. B. BLEYER, J. SCHWAIBOLD u. B. HARDER, Beiträge zur Kenntnis des Jodumlaufs in der Natur. Biochem. Zeitschr. 1932, Bd. 251, S. 87.
- 7a. G. BÖHNECKE, Beiträge zur Ozeanographie des Oberflächenwassers in der Dänemarkstraße und Irminger See, I. Ann. d. Hydrogr. u. Maritim. Meteorologie 1931, Bd. 59, S. 317.
- 7b. —, BRIGITTE FÖYN u. H. WATTENBERG, Beiträge zur Ozeanographie des Oberflächenwassers in der Dänemarkstraße und Irminger See, II. Ann. d. Hydrogr. u. Maritim. Meteorologie 1932, Bd. 60, S. 314.
8. E. BRÜCKNER, Die Bilanz des Kreislaufs des Wassers auf der Erde. Geogr. Zeitschr. 1905, S. 436.
9. K. BUCH, H. W. HARVEY, H. WATTENBERG u. S. GRIPENBERG, Über das Kohlen-säuresystem im Meerwasser. Conseil permanent international pour l'exploration de la mer. Rapports et procès-verbaux des réunions 1932, Bd. 79.
10. H. CATER, Über das Vorkommen von Jod in Gesteinen, Erden und Wässern und seine Beziehungen zum Kropf. Journ. f. Landwirtschaft 1929, Bd. 77, S. 251.
11. T. C. CHAMBERLIN, A Group of Hypotheses bearing on Climatic Changes. Journ. Geology 1897, Bd. 5, S. 653.
12. R. CHERUBIM, Über Verdunstungsmessungen auf See. Ann. d. Hydrogr. u. Maritim. Meteorologie 1931, Bd. 59, S. 325.
13. F. W. CLARKE, The Data of Geochemistry, 5. Aufl. U. S. Geol. Surv. Bulletin Nr. 770, 1924.
14. —, The Composition of the River and Lake Waters of the United States. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., Nr. 135, 1924.
15. — u. H. S. WASHINGTON, The Composition of the Earth's Crust. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap. Nr. 127, 1924.
16. K. CLOSS, Über das Vorkommen des Jods im Meer und in Meeresorganismen. Oslo 1931.
17. R. A. DALY, First Calcareous Fossils and the Evolution of the Limestones. Bull. of the Geol. Soc. of America 1909, Bd. 20, S. 153.
18. —, Average Chemical Compositions of Igneous-Rock Types. Proc. Am. Academy of Arts and Sciences 1910, Bd. 45, Nr. 7, S. 211.
19. J. V. ERIKSSON, Den kemiska denudationen i Sverige (Die chemische Denudation in Schweden). Medd. från statens meteorolog.-hydrogr. anstalt 1929, Bd. 5, Nr. 3.
20. TH. V. FELLENBURG, Das Vorkommen, der Kreislauf und der Stoffwechsel des Jods. München 1926. Sonderausgabe aus „Ergebnisse der Physiologie“, Bd. 25.
21. A. FERSMANN, Geochemische Migration der Elemente I und II. Abh. zur praktischen Geologie u. Bergwirtschaftslehre 1929, Bd. 18, 1930, Bd. 19.
22. F. FRECH, Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit (Kontinente und Meere am Schluß der Steinkohlenzeit). Zeitschr. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1902, S. 611 u. 671.
23. R. FRITZSCHE, Niederschlag, Abfluß und Verdunstung auf den Landflächen der Erde. Diss. Halle 1905.
24. W. GAUS u. R. GRIESSBACH, Jodfrage und Landwirtschaft. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, A, 1929, Bd. 13.
25. V. M. GOLDSCHMIDT, Geologisch-petrographische Studien im Hochgebirge des südlichen Norwegens. IV. Übersicht der Eruptivgesteine im kaledonischen Gebirge zwischen Stavanger und Trondhjem. Vid. selsk. Skr. I, Mat.-naturv. Kl. 1916, Nr. 2. Kristiania.

26. V. M. GOLDSCHMIDT, Geologisch-petrographische Studien im Hochgebirge des südlichen Norwegens. V. Die Injektionsmetamorphose im Stavanger-Gebiet. Vid. selsk. Skr. I, Mat.-naturv. Kl. 1920, Nr. 10. Kristiania.
27. —, Elemente und Minerale pegmatitischer Gesteine. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1930, S. 370.
28. — u. CL. PETERS, Zur Geochemie des Galliums. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1931, S. 165.
29. — u. —, Zur Geochemie des Scandiums. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1931, S. 257.
30. — u. CL. PETERS, Zur Geochemie des Berylliums. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, S. 360.
31. — u. —, Zur Geochemie der Edelmetalle. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, S. 377.
- 32 a. — u. —, Zur Geochemie des Bors. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, S. 402.
- 32 b. — u. —, Zur Geochemie des Bors II. Nachr. Ges. d. Wiss., Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, S. 528.
33. — u. —, Zur Geochemie des Germaniums. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1933, S. 141.
34. —, H. BERMAN, H. HAUPTMANN u. CL. PETERS, Zur Geochemie der Alkalimetalle. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1933, S. 235.
35. — u. O. HEFTER, Zur Geochemie des Selens. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1933, S. 245.
36. —, H. HAUPTMANN u. CL. PETERS, Über die Berücksichtigung „seltener“ Elemente bei Gesteins-Analysen. Naturwissenschaften 1933, Bd. 21, S. 363.
37. R. GRIESBACH, Verteilung und Kreislauf des Jodes in ihrer Bedeutung für den Ackerboden. Ergebn. d. Agrikulturchem. I, 1929.
38. F. HABER u. J. JÄNICKE, Beitrag zur Kenntnis des Rheinwassers. Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 1925, Bd. 147, S. 156.
39. —, Das Gold im Meerwasser (mit J. JÄNICKE). Zeitschr. angew. Chemie 1927, Bd. 40, S. 303.
40. W. HALBFASS, Quantitatives zum Kreislauf des Wassers auf der Erde, Leopoldina. Ber. d. Kaiserl. Dtschen Akad. d. Naturforscher 1926, Bd. 2, S. 177.
41. G. v. HEVESY, Recherches sur les propriétés du hafnium. Danske Vid.-Selsk. Math.-fys. Medd. VI, 1925, Nr. 7.
42. — u. K. WÜRSTLIN, Über das Häufigkeitsverhältnis Zirkonium Hafnium und Niob-Tantal. Zeitschr. phys. Chem. A, HABER-Band 1928, S. 605.
43. —, E. ALEXANDER u. K. WÜRSTLIN, Die Häufigkeit der Elemente der Vanadiumgruppe in Eruptivgesteinen. Zeitschr. anorg. u. allgem. Chem. 1930, Bd. 194, S. 315.
44. A. G. HÖGBOM, Om sannolikheten för sekulära förändringar i atmosfärens kolsyrehalt (Über die Wahrscheinlichkeit sekulärer Veränderungen des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre). Svensk Kemisk Tidskr. 1894, Bd. 6, S. 169.
45. A. HOLMES, Radioactivity and Geological Time. National Research Council, Physics of the Earth IV, The Age of the Earth 1931, S. 124.
46. H. HOUGEN, E. KLÜVER u. O. A. LÖKKE, Undersökelse over norske lerer V. Kjemiske analyser utført for Statens Råstoffkomité, Statens Råstoffkomité publikasjon, Nr. 22. Oslo 1925. (Untersuchungen über norwegische Lehme V. Chemische Analysen.)
47. K. JOST, Über den Vanadiumgehalt der Sedimentgesteine und sedimentären Lagerstätten. Chemie d. Erde 1932, Bd. 7, S. 177.
48. E. KOSSINNA, Die Tiefen des Weltmeeres. Veröffentl. d. Inst. f. Meereskunde, Neue Folge, A. Geographisch-naturw. Reihe 1921, Heft 9.
49. —, Die mittlere Höhe der Kontinente. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1931, S. 361.

50. A. KROGH, On the Tension of Carbonic Acid in Natural Waters and especially in the Sea. Medd. om Grönland 1904, Bd. 26, S. 333.
51. —, The Abnormal CO₂-Percentage in the Air in Greenland and the General Relations between Atmospheric and Oceanic Carbonic Acid. Medd. om Grönland 1904, Bd. 26, S. 409.
52. C. K. LEITH u. W. J. MEAD, Metamorphic Geology. New York 1915.
53. G. LINCK, Über den Chemismus der tonigen Sedimente. Geol. Rundsch. 1913, Bd. 4, S. 289.
54. —, Kreislauf der Stoffe in der anorganischen Natur. Handwörterbuch d. Naturwissensch. 1905, Bd. V, S. 1049.
55. G. LUNDE, Zur Geochemie des Jods I. Gerlands Beitr. z. Geophysik 1927, Bd. 16, S. 413.
56. —, The Geochemistry of Iodine and its Circulation in Nature. Chemical Reviews 1929, Bd. 6, S. 45.
57. — u. K. CLOSS, Über die Bindungsart des Jods bei Laminaria digitata. Biochem. Zeitschr. 1930, Bd. 219, S. 198.
58. H. LUNDEGÄRDH, Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Jena 1924.
59. W. J. MEAD, Redistribution of Elements in the Formation of Sedimentary Rocks. Journ. Geol. 1907, Bd. 15, S. 250.
60. W. MEINARDUS, Über den Kreislauf des Wassers. Sitzungsber. d. Med.-naturw. Ges. zu Münster i. W. 1908.
61. —, Über den Wasserhaushalt der Antarktis. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1925, S. 184.
62. —, Der Kreislauf des Wassers. Festrede d. Georg-August-Universität am 1. Juni 1927. Göttingen 1928.
63. —, Über den Wasserhaushalt der Antarktis, 2. Mitt. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1928, S. 137.
64. M. MEISNER, Weltmontanstatistik, I. 1860—1922, Teil 1 1925, Teil 2 1929, II. 1920—1930. Stuttgart 1932.
65. P. NIGGLI, Die chemische Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Schweizer Min.-Petrogr. Mitt. 1925, Bd. 5, S. 322.
66. —, F. DE QUERVAIN u. R. U. WINTERHALTER, Chemismus schweizerischer Gesteine. Beiträge z. Geologie d. Schweiz, Geotechn. Serie XIV, 1930.
67. I. u. W. NODDACK, Die Häufigkeit der chemischen Elemente. Naturwissenschaften 1930, Bd. 18, S. 757.
68. W. NOLL, Die Sorption des Kaliums in tonigen Sedimenten und ihre Bedeutung für die Bildung des Kaliglimmers bei der Metamorphose. Chemie der Erde 1930, Bd. 6, 1.
69. —, Über die geochemische Rolle der Sorption. Chemie der Erde 1931, Bd. 6, S. 552.
70. E. PHILIPPI, Über Dolomitbildung und chemische Abscheidung von Kalk in heutigen Meeren. N. Jahrb. f. Min. 1907, Festbd., S. 397.
71. C. S. PIGGOT, Radium Content of Ocean-Bottom Sediments. Am. Journ. of Sc. 1933, Bd. 25, S. 229.
72. E. RABINOWITSCH, Die Edelgase, Bd. IV, 3, von R. ABBEGG's Handbuch der anorganischen Chemie 1928.
73. J. ROTH, Allgemeine und chemische Geologie. Berlin 1879—93.
74. K. SCHARER u. J. SCHWAIBOLD, Zur Kenntnis des Jods als biogenes Element XVII. Biochem. Zeitschr. 1928, Bd. 200, S. 258.
75. — u. —, Bodenabsorptions- (bzw. Adsorptions-) und Elutionsversuche mit Jod. Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 1929, Bd. 182, S. 193.
76. —, Neuere Forschungen über die Bedeutung des Jods für Boden und Pflanze. Biedermanns Zentralbl. A, Neue Folge 2, 1932.
77. TH. SCHLOESING, Sur la constance de la proportion d'acide carbonique dans l'air. Compt. rend. 1880, Bd. 90, S. 1410.

78. W. SCHMIDT, Zur Schätzung des Niederschlags auf dem Meere. Mitt. Geogr. Ges. Wien 1919, S. 18.
79. H. SCHNEIDERHÖHN, Die Oxydations- und Cementationszone der sulfidischen Erzlagerstätten. Fortschr. d. Min. 1924, Bd. 9, S. 67.
80. C. F. SCHÖNBEIN, Über die Ursache der Farbenveränderung, welche manche Körper unter dem Einfluß der Wärme erleiden. Poggendorfs Ann. d. Phys. u. Chem. 1838, Bd. 45, S. 263.
81. J. J. SEDERHOLM, The Average Composition of the Earth's Crust in Finland. Fennia 45, Nr. 18, 1925.
82. E. STEIDTMANN, The Evolution of Limestone and Dolomite. Journ. of Geol. 1911, Bd. 19, S. 323 u. 392.
83. G. TAMMANN, Die Entstehung des freien Sauerstoffs der Luft. Zeitschr. f. phys. Chem. 1924, Bd. 110, S. 17.
84. TH. G. THOMPSON u. R. J. ROBINSON, Chemistry of the Sea. National Research Council, Physics of the Earth V, Oceanographie 1932, S. 95.
85. —, R. W. BREMNER u. J. M. JAMIESON, Occurrence and Determination of Iron in Sea Water. Industrial and Engin. Chemistry, Anal. Edition 1932, Bd. 4, S. 288.
86. W. VERNADSKY¹⁾, Geochemie in ausgewählten Kapiteln, übersetzt von E. KORDES. Leipzig 1930.
87. J. H. L. VOGT, On the Average Composition of the Earth's Crust, with particular Reference to the Contents of Phosphoric and Titanic Acid. Skrifter utgitt av det Norske Vidensk.-Akademi i Oslo, Mat.-naturv. Kl. 1931, Nr. 7.
88. H. WATTENBERG, Beziehungen zwischen Kalkgehalt des Meerwassers und Plankton. Conseil permanent international pour l'exploration de la mer. Rapports et procès-verbaux 1931, Bd. 75, S. 67.
89. —, Über den Kalkgehalt des Ozeanwassers. Ann. d. Hydrogr. 1930, Bd. 58, S. 277 u. 1931, Bd. 59, S. 273.
90. —, Die Beziehung zwischen p_H und freier Kohlensäure im Atlantischen Ozean. Intern. Revue d. Ges. Hydrobiol. u. Hydrographie 1932, Bd. 26, S. 462.
91. R. WILDT, Absorptionsspektren und Atmosphären der großen Planeten. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1932, S. 87.
92. —, Methan in den Atmosphären der großen Planeten. Naturwissenschaften 1932, Bd. 20, S. 851.
93. E. WILKE-DÖRFURT, Über den Jodgehalt einiger Gesteine und seine Beziehungen zum chemischen Teil des Kropfproblems. Ann. d. Chem. 1927, Bd. 453, S. 298.
94. G. WÜST, Die Verdunstung auf dem Meere. Veröffentl. d. Inst. f. Meeresk. Neue Folge, A. Geogr.-naturw. Reihe 1920, Heft 6.
95. —, Verdunstung und Niederschlag auf der Erde. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde 1922, S. 35.
96. Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“. Berichte in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1926 und folgende.
97. Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908—10, Nr. 6, 1931, H. THOMSEN, Nitrate and Phosphate Contents of Mediterranean Waters.

¹⁾ Während des Druckes dieser Übersicht erschien: W. VERNADSKY, Ozeanographie und Geochemie, Mineralog. u. petrogr. Mitt. 1933, Bd. 44, S. 168; in dieser Abhandlung werden wichtige geochemische Probleme erörtert, welche mit der Zusammensetzung und mit dem physikalischen Zustand der Hydrosphäre verknüpft sind.

Anhang

Vorschläge für den Gebrauch der Zeitschriftenkurztitel

Von

H. Hentschel,
Leipzig

Jeder literarische Niederschlag einer wissenschaftlichen Forschungstätigkeit verfolgt den Zweck, den Fachgenossen mit der eigenen Arbeit bekannt zu machen, ihm dadurch Anregung zu geben, ihn zur Mit- und Weiterarbeit und zur Kritik aufzufordern, ihn auch vor unnötiger Doppelarbeit zu bewahren. Die Hauptvermittlungsorgane dafür sind die periodisch erscheinenden Zeitschriften. Ihren Zweck können leider nur die wenigsten von ihnen voll erfüllen: sich an das Fachpublikum der ganzen Welt zu wenden. Der weitaus größte Teil dagegen ist in seiner Verbreitung und in seiner Zugänglichkeit für den internationalen wissenschaftlichen Kreis aus den verschiedensten Gründen stark eingeschränkt. Diesem Mangel suchen teils organisiert und dann in größerem Maßstabe die einigen Zeitschriften angegliederten periodischen Referatenteile oder auch selbständige Referatenwerke, teils meist auf vollkommen privatem Wege von Fach- zu Fachgenossen, also in sehr engen Grenzen der Austausch von „Separaten“, „Papers“, „Sonderdrucken“ abzuhelpen. In beiden Fällen zielt das Bestreben darauf hin, eine ganz bestimmte Arbeit allgemeiner bekannt zu machen, als es die diese Arbeit enthaltende Zeitschrift zu leisten imstande ist. In unmittelbarer Weise wird aber die internationale Verbreitung einer Arbeit durch die allgemeine Kenntnis des Nachweises einer Zeitschrift überhaupt unterstützt. Dies gilt im wesentlichen für diejenigen periodischen Schriften, die einerseits mit dem größten Teile ihres Inhalts sich ausschließlich an eine zahlenmäßig sehr beschränkte, meist lokal bedingte Leserschaft wenden, andererseits Ergebnisse aus den verschiedensten Wissensgebieten mitteilen (z. B. die Akademieschriften). Die allgemeine Kenntnis von der Existenz solcher Zeitschriften zu verbreiten, ist eine wichtige Aufgabe für die internationale Förderung der wissenschaftlichen Beziehungen.

In klarer Erkenntnis der Wichtigkeit dieses Momentes hat die Oxford University (1925/27) unter dem Titel „World List of scientific periodicals“ ein umfassendes Verzeichnis herausgegeben. In weiterem Verfolg sieht die „Internationale Kommission für geistige Zusammenarbeit“ eine wesentliche Förderung dieser Aufgabe darin, die beim Zitieren von Zeitschriften in wissenschaftlichen Arbeiten und Referaten zur Verwendung kommenden Abkürzungen (Zeitschriftenkurztitel) international einheitlich zu gebrauchen, derart, daß sowohl die eindeutige Beziehung des abgekürzten Titels auf die zitierte Zeitschrift, als auch die genügend deutliche Angabe des Titels überhaupt gewahrt ist. Hier hat die „Int. Komm. f. geist. Zusammen-

arbeit“ schon sehr viel praktische Vorarbeit geleistet, indem sie international gültige Regeln für die Kürzung der Zeitschriftentitel ausgearbeitet hat. Diese Regeln sind für Deutschland durch den dafür zuständigen Ausschuß angenommen worden. Auf dieser Basis stehen wir jetzt. Den einzelnen Fachgebieten ist es nun überlassen, durch geeignete Organisationen Verzeichnisse aller einschlägigen Zeitschriften, mit den nach den internationalen Regeln abgeleiteten Kurztiteln aufzustellen. — Für die naturwissenschaftlichen Disziplinen sind bisher zwei solcher Verzeichnisse aufgestellt worden: 1. für die Technisch-wissenschaftl. Zeitschriften, 2. für die Chemischen Zeitschriften (siehe Literaturnachweis am Ende dieses Berichtes).

Für die Mineralogie fehlt also noch dieses Zeitschriftenverzeichnis. Die Anwendung der genormten Kurztitel sollte aber nicht bis zum Erscheinen eines solchen hinausgeschoben werden, vielmehr so weit als irgend möglich sich jeder Fachgenosse, vor allem als Mitarbeiter an den Referatenorganen, verpflichtet fühlen, sie durchzuführen.

Diesen Schritt jedem einzelnen Mineralogen etwas zu erleichtern, sollen unten aus der Originalliteratur auszugsweise die wichtigsten Regeln für die Kürzung der Zeitschriftentitel angeführt werden. Es wird dabei manche eingebürgerte Kürzung eines Zeitschriftentitels durch eine andere ersetzt werden müssen. Der Vorteil einer einheitlichen internationalen Regelung steht aber in gar keinem Verhältnis zu dem geringen Eingeständnis, vereinzelt von Gewohntem abgehen zu müssen.

Man prüfe nur in den mineralogischen Referatenorganen die jetzige Handhabung der Zeitschriftentitelkürzungen nach, und man wird sehr schnell von der Notwendigkeit und dem allgemeinen Nutzen eines einheitlichen Gebrauches der Kurztitel überzeugt sein. Die angewandten Kürzungen sind meist außerordentlich willkürlich, meist derart, daß für eine bestimmte Zeitschrift jeder Referent seinen eigenen Kurztitel verwendet. Vier, fünf und noch mehr verschiedene Kürzungsarten für ein und dieselbe Zeitschrift in ein und demselben Referatenorgan sind keine Seltenheit. Für die allgemein bekannten Zeitschriften besteht zwar meistens kein Zweifel an der Eindeutigkeit der zitierten Zeitschrift. Für eine speziellere Zeitschrift ist dagegen oftmals aus ihrem Kurztitel der vollständige Titel nicht mehr eindeutig ableitbar. Was in dieser Beziehung von den Referatenorganen in bezug auf Deutlichkeit versäumt worden ist, kann eingeholt werden durch möglichst rasche und konsequente Einführung der genormten Kurztitel. Von diesen Stellen aus werden sich dann am schnellsten alle Fachgenossen von dem Vorteil dieser Normierung überzeugen lassen.

Allgemeine Regeln ¹⁾

1. Die Titel der Zeitschriften werden so gekürzt, daß sie leicht verständlich bleiben. Die Reihenfolge der Wörter wird beibehalten.

Ausnahme: Einige der am häufigsten vorkommenden Gattungsnamen von Zeitschriften (wie Blätter, Journal, Zeitschrift) werden stärker gekürzt, siehe Beiblatt zu Din 1502 (nachfolgende Tabelle).

2. Weggelassen werden im allgemeinen nur Artikel, Konjunktionen, Präpositionen und diesen gleichwertige Wendungen (z. B. „aus dem Gesamtgebiete der“).

Ausnahmen:

a) Artikel, Konjunktion oder Präposition bleiben enthalten, wenn der Titel nur aus zwei Substantiven besteht und diese durch Artikel usw. miteinander verbunden sind. Ist das eine Substantiv aber ein allgemeiner

¹⁾ Entnommen in etwas abgekürzter Form dem Normblatt Din 1502 (Lit. 3) mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Die gekürzte Wiedergabe dieser Regeln hat hier nur den Zweck, über die Kürzungsprinzipien zu unterrichten. — Für den praktischen Gebrauch ist die Benutzung des Normblattes (Preis 50 Pf.) unerlässlich.

Zeitschriftengattungsname (Annales, Revue, Zeitschrift), so gilt diese Ausnahme nicht, und Artikel usw. fallen weg.

Beispiele: Stimmen d. Zeit, Coal & Iron, Soeries de Lyon, Voz de la Verdad.

Aber: Zeitschrift für Meteorologie = Z. Meteorol.

- b) Die Konjunktion bleibt bestehen zwischen zwei zusammengesetzten Wörtern mit gemeinsamen Endsilben.

Beispiel: Land- und forstwirtschaftliche Blätter = Land- u. forstw. Bl.

- c) In besonders langen Titeln werden auch die weniger wichtigen Wörter weggelassen.

Beispiele: Arbeiten aus dem Elektrotechnischen Institut der Großherzoglichen Technischen Hochschule Friedericiana zu Karlsruhe = Arb. elektrotechn. Inst. Karlsruhe.

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences = C. R. Acad. Sci., Paris.

Muß die Konjunktion beibehalten werden, so wird „und“ durch „u.“, „and“ durch „&“, „och“ durch „o“ gekürzt. Der deutsche bestimmte Artikel ist in allen Formen durch „d.“ abzukürzen.

3. Die Wörter werden in der Weise gekürzt, daß der Schlußteil jedes Wortes weggelassen wird. Hinter die Abkürzung wird ein Punkt gesetzt.

Beispiele: Medizin = Med.

Médecine = Méd.

4. Substantiva werden groß, Adjektiva werden klein geschrieben. Von Völker- und Ländernamen abgeleitete Adjektiva werden groß oder klein geschrieben.

Beispiele: Arbeiten aus dem Gebiete der Experimentellen Biologie = Arb. exp. Biol.

Annales de la Société de médecine physique d'Anvers = Ann. Soc. Méd. phys. Anvers.

Journal of the Scottish Chamber of Agriculture = J. Scot. Chamb. Agric. oder J. scot. Chamb. Agric.

5. Einzahl und Mehrzahl werden bei der Kürzung nicht unterschieden.

Beispiele: Blatt, Blätter = Bl., Bericht, Berichte = Ber., Jahrbuch, Jahrbücher = Jb.

6. Sinn- und stammverwandte Wörter verschiedener Sprachen erhalten die gleichen Kürzungsformen in der entsprechenden Rechtschreibung.

Beispiele: Académie	} = Acad.	Sociedad	} = Soc.
Academy		Sociedade	
Academia		Società	
Accademia	= Accad.	Societas	} = Soc.
Akademie	} = Akad.	Societate	
Akademi		Société	
		Society	

7. Transkribierte Titel werden nach den vorstehenden Regeln gekürzt unter Zusatz der Sprachangabe. Zu weit gehende Kürzungen sind aber hier zu vermeiden.

Orientalische Zeitschriftentitel werden nicht gekürzt.

Im Anschluß an diese sieben Regeln folgen noch fünf weitere „besondere Regeln“, die hier nicht abgedruckt werden können, die aber ebenso wie die (ungekürzten) ersten im Normblatt Din 1502 (Lit. 3) enthalten sind.

Häufig vorkommende Wörter und ihre Abkürzungen¹⁾

Abhandlungen	Abh.	Förhandlingar	Förh.
Abstracts	Abstr.	Forschungen	Forsch.
Acta	Acta	Fortschritte	Fortschr.
Actes	Act.		
Administration	Adm.	Gazette	Gaz.
Afhandlingar	Afh.	General	Gen.
Allgemein(e)	Allg.	Gesamt	Ges.
American	Amer.	Gesellschaft	Ges.
Anales	An.		
Anals	An.	Handbuch	Handb.
Annalen	Ann.	Hefte	H.
Annales	Ann.		
Annals	Ann.	Illustrierte	Ill.
Anzeiger	Anz.	Imperial	Imp.
Arbeiten	Arb.	Index	Index
Archiv	Arch.	Industrie	Ind.
Association	Assoc.	International	Int.
Aufsätze	Aufs.		
Aufzeichnungen	Aufzeichn.	Jahrbuch	Jb.
Auszug	Ausz.	Jahresbericht	Jber.
		Jahreshefte	Jh.
		Journal	J.
Beiblätter	Beibl.		
Beihefte	Beih.	Kalender	Kal.
Beiträge	Beitr.	Kommission	Komm.
Beobachtungen	Beob.	Korrespondenz	Korr.
Bericht(e)	Ber.		
Bibliographie	Bibliogr.	Laboratorium	Lab.
Bibliothek	Bibl.	Literatur	Lit.
Blatt	Bl.		
Blätter	Bl.	Magazine	Mag.
Bulletin(s)	Bull.	Mémoires	Mém.
		Miscellaneous	Misc.
Catalogue	Cat.	Mitteilungen	Mitt.
College	Coll.	Monatshefte	Mh.
Comité	Com.	Monatsverzeichnis	Monatsverz.
Commission	Comm.	Monographien	Monogr.
Committee	Comm.	Monthly	Monthly
Communications	Commun.	Museum	Mus.
Compte(s) rendu(s)	C. R.		
Congrès	Congr.	Nachrichten	Nachr.
Conseil	Cons.	National	Nat.
Contributions	Contr.	Neues	Neues
		News	News
Denkschriften	Denkschr.	Notes	Notes
Drucksachen	Drucks.	Notizen	Not.
Ergebnisse	Ergebn.	Observations	Obs
Erläuterungen	Erl.	Offizielle(r)	Off.
Experiment	Exp.	Organ	Org.

¹⁾ Entnommen (stark abgekürzt) dem „Beiblatt zu Din 1502“ (Lit. 3) mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses.

Papers	Pap.	Tageszeitung	Tagesztg.
Periodische	Period.	Taschenbuch	Taschenb.
Post	Post	Taschenkalender	Taschenkal.
Proceedings	Proc.	Tidskrift	Tidskr.
Progress	Progr.	Transactions	Trans.
Protokoll	Prot.	Travaux	Trav.
Publikationen	Publ.		
		Übersicht	Übers.
Rapports	Rapp.	Umschau	Umsch.
Ratgeber	Ratg.	Universal	Univ.
Recherches	Rech.	Université	Univ.
Recueil	Rec.	University	Univ.
Report	Rep.		
Research(es)	Res.		
Resultate	Result.	Verband	Verb.
Results	Results	Verein	Ver.
Résumé	Résumé	Vereinigung	Vereinig.
Review(s)	Rev.	Verhandlungen	Verh.
Rundschau	Rdsch.	Veröffentlichungen	Veröff.
		Versammlungen	Versamml.
		Versuche	Vers.
Sammlung(en)	Samml.	Verzeichnis	Verz.
Schriften	Schr.	Vorträge	Vortr.
Scientific	Sci.		
Series	Ser.		
Sitzungs-Berichte	S.B.	Wissenschaftliche	Wiss.
Société	Soc.	Wochenblatt	Wbl.
Society	Soc.	Wochenschrift	Wschr.
Studien	Stud.		
Studies	Stud.	Year Book	Yearb.
Summary	Summ.		
Supplements	Suppl.	Zeitschrift	Z.
		Zeitung	Ztg.
Tägliche	Tägl.	Zentralblatt	Zbl.

Literaturnachweis

Lit. 3 bringt in deutscher, Lit. 4 in französischer und englischer Sprache die internationalen Abkürzungsregeln nebst einem Verzeichnis von stärkeren Abkürzungen häufig vorkommender Wörter.

In Lit. 5 und 6 sind die genormten Kurztitel einer großen Zahl mineralogisch wichtiger Zeitschriften mit enthalten.

1. Gesamt-Zeitschriften-Verzeichnis, herausgeg. v. Auskunftsbüro der deutschen Bibliotheken, Berlin 1914.

2. World List of scientific Periodicals, Oxford 1925/27.

3. Normblatt Din 1502 nebst Beiblatt zu Din 1502, herausgeg. v. Deutschen Normenausschuß; Bezug durch: Beuth-Verlag GmbH. Berlin S 14.

4. Code International d'Abbreviations des Titres de Périodiques Élaboré par un Sous-Comité sous les Auspices de l'Institut International de Coopération Intellectuelle, Paris 1930.

5. Kurztitelverzeichnis Technisch-Wissenschaftlicher Zeitschriften, herausgeg. v. Deutschen Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine e. V., Berlin NW 7, Ingenieurhaus.

6. Verzeichnis der im Chemischen Zentralblatt gehaltenen und erschöpfend referierten Zeitschriften mit den dazugehörigen genormten Zeitschriftenabkürzungen, herausgeg. v. d. Redaktion des Chemischen Zentralblattes Dr. M. PFLÜCKE, Berlin, Verlag Chemie.

Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9

Mineralien

Meteoriten, Gesteine, Fossilien,
Dünnschliffe, Edelsteine, geschl.,
Kristallmodelle aus Glas

Einzelstücke, Sammlungen, Seltenheiten, Erz-
lagerstättenbelegstücke, Mineralien u. Gesteine
für Laboratoriumszwecke, große Auswahl in
Graptolithen des vogtl. u. ostthüring. Silurs
(Zone 10—19)

Verzeichnisse über Neuerwerbungen kostenlos

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

Herausgeberin: Schweiz. Mineralogische und Petrographische Gesellschaft.

Erscheinen halbjährlich in Heften mit 11—12 Druckbogen,
unter Mitwirkung sämtlicher schweizerischer Mineralogen
und Petrographen und der mineralogischen Hochschul-
institute und bringen Arbeiten aus dem Gesamtgebiet der
Kristallographie, Mineralogie und Petrographie, mit be-
sonderer Berücksichtigung der Alpen.

Bezugsbedingungen:

Für Mitglieder der Schweiz. Mineralogischen u. Petro-
graphischen Gesellschaft gratis (Mitgliederbeitrag jährlich
Fr. 20.—). Anmeldungen beim Kassier, Dr. **Fr. de Quervain**,
Mineralogisches Institut der E. T. H., Sonneggstr. 5,
Zürich 6.

Abonnement pro Jahr (2 Hefte) Fr. 25.—. Anmeldungen
beim Verlag **A. G. Gebr. Leemann & Co.**, Zürich 2.
Ältere Bände, soweit Vorrat, ebenda erhältlich.

Sonderangebot in:

Vanadinit XX und **Descloizit XX**,
sowie äußerst interessantem

Lagerstättenmaterial der Vanadiumerzlagertstätte Abenab (Otavibergland S.W.-Afrika.)

Siehe Literatur: Schneiderhöhn H., „Das Otavibergland und seine Erzlagerstätten.“ (Z. f. pr. Geol. 1929, Seite 115.)

Süddeutsche Mineralienzentrale
Dipl.-Ing. Wilh. Maucher. München 13, Schellingsstr. 73

Ständiges großes Lager in Mineralien, Gesteinen, Versteinerungen, Lagerstätten- u. Analysenmaterial sowie Bedarfsartikeln für Mineralogie, Geologie u. Lötrohrprobierkunde

Ansichtsendungen franko gegen franko

Zahlungsbedingungen nach Vereinbarung

THE AMERICAN MINERALOGIST

Journal of the Mineralogical Society of America

A monthly periodical devoted to articles on Mineralogy, crystallography and allied sciences. Back volumes may be purchased at \$ 3.00 per volume. Membership in the Society is \$ 3.00 per year which includes subscription price to the current volume. Volumes in recent years have contained from 500 to 600 pages. Inquiries should be sent to the treasurer,

Dr. Waldemar T. Schaller, U. S. Geological Survey, Washington, D. C., U. S. A.

Other officers of the Society for 1933 are: President, Dr. Herbert P. Whitlock (American Museum of Natural History); Vice-President, Dr. Frank N. Guild (University of Arizona); Secretary, Dr. Frank R. Van Horn (Case School of Applied Science); Editor, Dr. W. F. Hunt (University of Michigan). Ann. Arbor, Mich., U. S. A.

Oscar Ahlberndt, Berlin O 27

Tel.: Friedrichshain 1705 **Spezialmaschinenfabrik**

Krautstraße 52

Inhaber: A. Schütt, Ing.

Sämtl. Arbeitsmaschinen zur Herstellung von Präzisionsoptik.

**Schneide-, Schleif- und Poliermaschinen zur
Herstellung von**

Anschliffen und Dünnschliffen

**für Mikro- u. mikrophotographische Unter-
suchungen.**

Diamantpräparierte Schneidscheiben.



Die Mineralien=Niederlage der Staatl. Sächs. Bergakademie

Freiberg i. Sa., Brennhausgasse 14,

im Mineralogisch=Geologischen Institut der Bergakademie,

empfiehlt sich zur Lieferung von:

Mineralien, Gesteinen, Erzen und Ver-
steinerungen in ganzen Sammlungen
und Einzelstücken,

sowie von sämtl. mineralogischen und
geologischen Ausrüstungs= u. Gebrauchs-
gegenständen.

Ansichtssendungen werden auf Wunsch gern zu-
sammengestellt!

Ankauf von Mineralien und ganzen Sammlungen!
Tauschverkehr!

1833

1933

Mineralien - Gesteine Fossilien

liefert seit 100 Jahren an
Museen, Institute, Laboratorien, Schulen
für Sammlungen und Unterrichtszwecke

Dr. F. KRANTZ - Bonn
Rheinisches Mineralien-Kontor

Von Neuerwerbungen bieten wir als besonders interessant an:

Meteoreisen: **Hexaedrit** von Cerros del Buei Muerto, Chile,

untersucht und beschrieben von F. Heide, E. Herschkowitsch und E. Preuß (Chemie der Erde, 7. Bd., Jena 1932),

in einseitig polierten und geätzten Platten von verschiedener Größe bis zu

170 × 150 × 10 mm = ca. 1,6 kg RM. 560.—

165 × 140 × 8 mm = ca. 1,2 kg RM. 420.—

Kleine Platten bis zum Gewicht von 100 g kosten
RM. —.45 pro Gramm

mittlere im Gewicht bis zu 500 g
RM. —.40 pro Gramm

größere je nach der Größe
RM. —.38 bis —.35 pro Gramm

Ferner:

Gipsmodell des vollständigen Meteoriten
naturgetreu koloriert RM. 35.—

FUESS

Optische Instrumente

für

Erz-, mineralogische und technologische Untersuchungen

lassen sich dem jeweils vorliegenden Zweck individuell anpassen
und erfahren eine ständige konstruktive Fortentwicklung.

Ausrüstungsvorschläge bereitwilligst über:

**Polarisations-
Mikroskope u.
Ergänzungsapparate**
für alle Zwecke

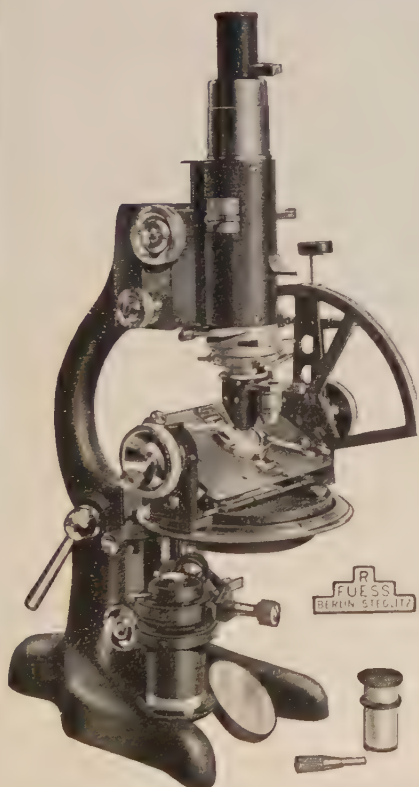
**Refraktometer
u. Mikroskop-Refrakto-
meter**

Goniometer

**Messmikroskope
u. Kathetometer**

Monochromatoren

Spektralapparate
für qualitative und quantitative
Analysen



Polarisations-Mikroskop mit heb- und senk-
barem Tisch, kombiniert m. Mikroskop-Refrakto-
meter nach Lindley



Gegründet 1865

Der neue

MIKRO-„METALIX“-APPARAT

für Feinstruktur-Untersuchungen

ist

das Röntgenmikroskop der
Laboratorien und Betriebe.



Seine Vorteile sind:

Er kann nach Bedarf auf jedem Tisch aufgestellt und wie eine Tischlampe an die Lichtsteckdose angeschlossen werden.

Er ist vollkommen hochspannungssicher.

Er läßt keine schädigende Röntgenstrahlung austreten.

Er leistet mehr als seine großen Vorgänger.

Er gibt Kupfer-, Kobalt- oder Eisenstrahlen.

D 11/1

Die demnächst erscheinende Broschüre:

„Die Mikro-„Metalix“-Technik mit Kupferstrahlen“

zeigt seine Vielseitigkeit.

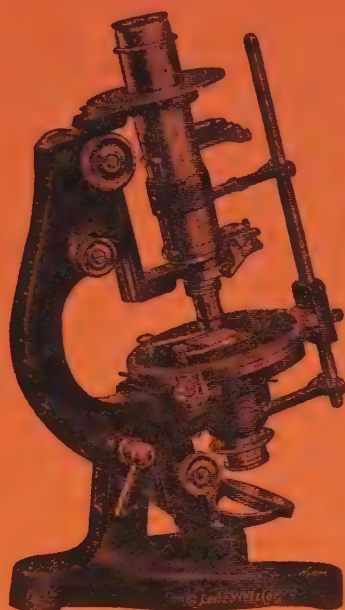
Zu erhalten kostenlos und unverbindlich durch die

C. H. F. MÜLLER AKTIENGESELLSCHAFT, HAMBURG-FU.

Röntgenstraße

Leitz

POLARISATIONS-MIKROSKOPE



Ausrüstung für die
Universal-Drehtisch-Methode

Projektions- und Demonstrationsapparate
Integrationslische für das Shand'sche Analysenverfahren
Spaltmikrophotometer

„Fordern Sie kostenlos unsere Druckschriften

Ernst Leitz, Wetzlar

Seifert Röntgenapparate

für Feinbauuntersuchungen



Aufnahmegeräte

für sämtliche Untersuchungsmethoden

Fordern Sie unverbindlichen Ingenieur-Besuch
zur Beratung von Neueinrichtungen und Umbau
vorhandener Apparate

Rich. Seifert & Co.

Hamburg 13

Aelteste Spezialfabrik für Röntgenapparate

Diesem Heft liegt ein Prospekt der Firma Walter de Gruyter & Co., Berlin W 10,
Genthiner Str. 38 über das Werk „Gesteinsanalytisches Praktikum“ bei.

Lippert & Co. G.m.b.H., Naumburg (Saale)

Mitgliederverzeichnis

der

Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

nach dem Stande vom 15. Juni 1933

(Institute, Landesanstalten, Büchereien sind unter dem Namen der Stadt aufgeführt.)

A. Ehrenmitglieder

1. **Laue, M. v.**, Dr., Prof., **Zehlendorf** (Wannseebahn), Albertinenstraße 17.
2. **Brögger, W. C.**, Dr., Professor, **Baekkelaget** b. Oslo (Norwegen).
3. **Miers, Sir A. H.**, Dr., Professor, 18, Aberdare Gardens, West Hampstead, **London N. W. 6.**
4. **Spencer, L. J.**, Dr., British Museum-Natural History, Mineral Dept., Cromwell Road, South Kensington, **London S. W. 7.**
5. **Sederholm, J. J.**, Dr., Professor, Direktor d. Geol. Landesanstalt, **Helsingfors**, Finland, Boulevardsgatan 29.
6. **Linck, G.**, Dr., Dr. rer. pol. h. c., Professor, Geh. Hofrat, **Jena**, Mineralog. Institut d. Universität.
7. **Brauns, R.**, Dr., Prof., Geh. Bergrat, **Bonn** a. Rhein, Endenicher-Allee 50.
8. **Kraus, Edward H.**, Dr., Professor, Mineral. Lab., Univ. of Mich., **Ann Arbor**, Mich., U. S. A.
9. **Palache, Charles**, Professor a. d. Harvard University **Cambridge**, Mass. U. S. A., Oxford Street, Department of Mineralogy a. Petrography.



*Friedrich Becke,
Victor Goldschmidt,
Friedrich Rinne,*

B. Mitglieder

1. **Aachen** (Rhld.), Bibliothek der Technischen Hochschule, Wüllnerstraße.
2. **Aachen**, Mineralogisches Institut d. Techn. Hochschule, Wüllnerstraße 2.
3. **Adolf, Gustav**, Dr., Betriebsleiter, **Sondershausen**, Petersenschacht.
4. **Ahlfeld, F.**, Dr., Bergassessor, Privatdozent an der Universität **Marburg** (Hessen), Roserstraße 24^{1/2}.
5. **Ahrens, Wilhelm**, Dr., Geolog. Landesanstalt, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 44.
6. **Aminoff, G.**, Dr., Professor, **Stockholm** 50 (Schweden), Riksmuseets mineralogiska avdelning.
7. **Amsterdam**, Geologisch Instituut der Universiteit. Nieuwe Achtergracht 125.
8. **Andrée, K.**, Dr., Professor, **Königsberg** i. Pr., Brahmsstr. 19 I. r. (G.)
9. **Aranowski, Karl**, Lehrer, **Berlin-Neukölln**, Treptowerstr. 95/96.
10. **Arlt, H.**, Dr., Ministerialrat, **Berlin-Lichterfelde-Ost**, Berlinerstraße 43.
11. **Arschinoff** (Aršinov), **V.**, Professor, **Moskau**, B, Institut f. angew. Mineralogie u. Petrographie, Ordinka 32.
12. **Aulich**, Prof. Dr., Studienrat a. d. Staatl. Hüttenschule, **Duisburg**, Prinz Albrechtstr. 33.
13. **Backlund, Helge**, Dr., Prof., **Upsala** (Schweden), Geol. Inst. (G.)
14. **Baier, Ernst**, Dr. phil., Assistent am mineralog. Institut der techn. Hochschule, **Berlin-Charlottenburg**, Bismarckstr. 25.
15. **Banerji, A. K.**, B. Sc., Assistant-Superintendent, Geolog. Survey of India, **Calcutta** (Indien).
16. **Bär, Adolf**, Dr., Oberst a. D., **Asch** C. S. R.
17. **Bär, Otto**, Dr., in Fa. Dr. C. Otto & Co., **Bochum**, Castropersstraße 92.
18. **Barry, Hans**, Bergrat, **Bad Oeynhausen**, Mindenerstr. 14.
19. **Barth, I. F. W.**, Dr., Professor, **Washington D. C.**, U. S. A., 2801 Upton Street, Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington.
20. **Basel**, Mineralogisch-petrographisches Institut, Münsterplatz 6/7.
21. **Becker, Hans**, Dr. phil., Privatdozent, Assistent am geolog. Institut der Universität, **Leipzig S 36**, Leinestr. 24.
22. **Becker, Walter**, Dr., **Hamburg 21**, Marienerrasse 22.
23. **Bederke, E.**, Dr., Professor, Geolog. Institut der Universität, **Breslau 1**, Schuhbrücke 38/39.
24. **Beeckmann, Wilhelm**, Bergassessor, **Essen**, Friedrichstr. 2.

25. *Beger, P. J.*, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Techn. Hochschule, **Hannover**, Callinstr. 12.
26. *Behrend, Fritz*, Dr., Professor, **Berlin-Grünwald**, Charlottenbrunnerstr. 2.
27. *Belowsky, M.*, Dr., Professor, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 43. (G.)
28. *Bendig, Maximiliane*, Dr. phil., **Berlin SW 61**, Yorkstr. 19.
29. *Berek, Max*, Dr., Professor, **Wetzlar** a. d. Lahn, Wuhlgraben 5.
30. *Berg, Georg*, Dr., Professor, Bergrat, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 44.
31. *Berger, E.*, **Mödling**, Österreich, Hauptstr. 24.
32. *Bergmann, W.*, Dr.-Ing. e. h., Ilseder Hütte, Abtlg. Bergbau, **Groß-Ilsede** (Hannover).
33. *Berlin-Charlottenburg*, Metallhüttenmänn. Institut der Techn. Hochschule (Prof. Guertler), **Hardenbergstr.** 35.
34. *Berlin-Charlottenburg*, Institut f. Mineralogie und Petrographie der Techn. Hochschule, **Berlinerstr.** 170.
35. *Berlin-Dahlem*, Staatl. Materialprüfungsamt, Unter d. Eichen 87.
36. *Berlin-Dahlem*, Kaiser Wilhelm-Institut f. Silikatforschung, **Faradayweg** 16.
37. *Berlin N 4*, Preussische geolog. Landesanstalt, Invalidenstr. 44.
38. *Berlin N 4*, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, Invalidenstr. 43.
39. *Bern* (Schweiz), Mineralog.-petrogr. Institut d. Univ., **Bollwerk** 10.
40. *Bernauer, F.*, Dr., Professor, Bergbauabtlg. d. Techn. Hochschule, **Charlottenburg**, **Berlinerstr.** 170.
41. *Biehl, Karl*, Dr., **Neuwied** (Rhein), Zementfabrik.
42. *Bindrich, Johannes*, Dr., **Frankenberg** i. Sachsen.
43. *Blank, E.*, Dr., Prof., **Göttingen**, **Wilh. Weberstr.** 40. (G.)
44. *Blittersdorf, Hellmut*, Dr., **Erfurt**, **Friedrich-Wilhelm-Platz** 37.
45. *Boldirew, Anatoli K.*, Professor, **Leningrad**, Berginstitut 16.
46. *Bonn*, Geol.-paläontolog. Institut der Universität.
47. *Bonn*, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, **Poppelsdorfer Schloß**.
48. *Born, Axel*, Prof. Dr., **Charlottenburg**, Bergbauabteilung der Techn. Hochschule, **Berlinerstr.** 170.
49. *Bosscha, J.*, Dr. phil., **Clarens-Montreux** (Schweiz), **Villa Du-bochet** 21.
50. *Bowman, H. L.*, Prof. Dr., **Magdalen College**, **Oxford** (England), **8 Fyfield Road**.
51. *Brand, M. J. van den*, Dr., Assistent Staatl. Landwirtschaftl. Versuchsanstalt (Algemeen Proefstation voor den Landbouw) am Institut für Bodenkunde, **Buitenzorg (Java)**, **Boeboelak** 39 A.
52. *Brendler, W.*, Dr., **Hamburg 23**, **Marienthalerstr.** 142. (G.)

53. **Breslau**, Mineralogisch-petrographisch. Institut d. Univ., Schuhbrücke 38/39.
54. **Brinkmann, Margarete**, Dr., **Göttingen**, Goldgraben 14.
55. **Broch, Olaf Anton**, Staatsgeologe, **Oslo**, Gabelsgat. 48.
56. **Bücking, H.**, Dr., Professor, Geh. Bergrat, **Heidelberg**, Ziegelhäuser Landstr. 39. (G.)
57. **Budapest VIII**, Magyar Nemzeti Museum, Mineralog. Abtg., Muzeum-Körut 16.
58. **Bujor**, Jonescu, Prof. Dr., Universität **Czernowitz** (Rumänien).
59. **Burri, Conrad**, Dr. phil., Professor, **Zürich 6**, Sonneggstr. 5.
60. **Buschendorf, Fritz**, Dr.-Ing., Privatdozent, Mineral. Inst. d. Bergakad., **Clausthal** (Harz), Privat: **Clausthal-Zellerfeld II**, Bernhardtstr. 5, **Clausthal-Zellerfeld I**, Bergakademie.
61. **Busz, K. E.**, Dr., **Bonn a. Rh.**, Schumannstr. 66.
62. **Calsow, Georg**, Dr. phil., **Jena**, Mineralog. Institut, Schillerstraße 12.
63. **Canaval, Rich.**, Dr., Hofrat, Berghauptmann, **Klagenfurt** in Kärnten, St. Ruprechtstr. 8. (G.)
64. **Cardoso, Gabriel Martin**, Professor, **Madrid** (Spanien) Marqués de Urquijo 3.
65. **Chemnitz i. Sa.**, Städt. Naturwissenschaftl. Sammlung im städt. Museum.
66. **Cheng, Chen-Wen**, c/o. Tay Miang Huat & Co., 16 Upper Circular Road, **Singapore**.
67. **Christa, Em.**, Dr., Professor, **Würzburg**, Rotkreuzstr. 9.
68. ***Chu, Chia-hua**, Dr., Geologe, **Kanton** (China), Universität.
69. **Chudoba, Karl**, Dr. phil., Privatdozent am mineralog.-petrogr. Institut der Universität, **Bonn**, Poppelsdorfer Schloß.
70. **Cissarz, Arnold**, Dr., Professor, **Freiburg i. Br.**, Mineralog. Institut der Universität, Bertholdstr. 17.
71. **Cöthen** (Anhalt), Städtisches Friedrichs-Polytechnikum (G.).
72. **Correns, Carl W.**, Dr., Professor, **Rostock**, Mineralog. geolog. Institut, Wismarschestr. 8.
73. **Czygan, Kurt**, Oberstudiendirektor, **Leipzig-O.**, Möbiusstr. 13.
74. **Dannecker, Eugen**, Dr. phil., **Stockach** in Baden, unbekannt verzogen.
75. **Darmstadt**, Institut f. Geologie u. techn. Gesteinskunde d. techn. Hochschule.
76. **Deubel, Fritz**, Dr., **Jena**, Kieshügel 5.
77. **Deutsche Chemische Gesellschaft**, Redaktion des Gmelin-Handbuches, **Berlin W 10**, Sigismundstr. 4IV.
78. **Deutsche Gesellschaft für Metallkunde** im Verein deutscher Ingenieure, **Berlin NW 7**, Friedr. Ebertstr. 27.

79. **Diehl, Otto**, Dr., Professor, Bergrat, Landesgeologe, **Darmstadt**, Inselstraße 44.
80. **Dittler, Emil**, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
81. **Dorn, Paul**, Dr. phil., Professor, **Erlangen**, Mineral. Inst. der Universität.
82. **Drescher, Friedr. Karl**, Dr. phil., Professor, **Clausthal** (Harz), Bergakademie.
83. **Dresden**, Bibliothek der Sächs. Technischen Hochschule, **Dresden A 24**, Bismarckplatz 18I.
84. **Dresden**, Mineralog.-geolog. Museum, Zwinger.
85. **Easton, N. Wing**, Dr. T. W. h. c., Bergingenieur, **Rijswijk** (Z. H.) Holland, Geestbrugweg 50.
86. **Ebert, Heinz**, Dr., Geologe, **Leipzig-C. I**, Talstr. 35, Sächs. Geolog. Landesamt.
87. **Eckermann, H. v.**, Dr., Berg- u. Hütteningenieur, Privatdozent a. d. Universität Stockholm, **Edeby** b. Sparreholm, Schweden.
88. **Edelmann, F.**, Dipl.-Ing., Direktor der Mineralienniederlage der Bergakademie, **Freiberg** (Sa.), Brennhausgasse 14.
89. **Edelman, Ir. C. H.**, M. i. Konservator am geol. Inst. d. Universität, **Amsterdam**, Copernicusstraat 19.
90. **Ehrenberg, Hans**, Dr.-Ing., Bergassessor, Privatdoz. am Mineral. Institut d. Techn. Hochschule, **Aachen**, Wüllnerstr. 2.
91. **Eissner, Willy**, Dr. phil., Chemiker-Mineraloge b. d. I. G. Farbenindustrie A. G., Werk Oppau, **Ludwigshafen a. Rh.**, Fichte-
straße 18.
92. **Eitel, Wilhelm**, Dr., Professor, **Berlin-Dahlem**, Faradayweg 16. Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung.
93. **Endell, Kurd**, Dr., Professor, **Berlin-Steglitz**, Breite Str. 3.
94. **Eppler, W. Fr.**, Dr. phil., **Krefeld**, Leyentalstr. 77.
95. **Erdmannsdörffer, O. H.**, Dr., Professor, Mineralog. Institut, **Heidelberg**, Hauptstr. 47, 51, privat: Erwin Rhodestr. 10. (G.)
96. **Erlangen**, Mineralog. u. geolog. Institut d. Universität.
97. **Ernst, Emil**, Dr., Professor, **Münster i. W.**, Pferdegasse 3 bzw. Mineralog. Institut d. Universität.
98. **Faber, Walter**, Dr., Assistent am Mineralog. Institut d. Bergakademie, **Freiberg i. S.**,
99. **Fackert, Walter**, Dr., Vorsteher der Versuchsanstalt der Rasselsteiner Eisenwerksgesellschaft A.-G. Neuwied, **Neuwied**, Nagel-
gasse 12.
100. **Fahrenhorst, J.**, Dr., Chemiker, **Ludwigshafen a. Rhein IV**, Wöhlerstr. 25.
101. **Fellinger, Robert**, Dr., **Berlin-Wilmersdorf**, Aschaffenburg-
straße 5.

102. **Feng, Hsükuang**, Adresse z. Zt. unbekannt.
103. **Fischer, Georg**, Dr., Geologe an der Preuß. Geolog. Landesanstalt. Privat: **Berlin-Wittenau**, Oranienburgerstr. 249.
104. **Fischer, H.**, Bergrat, **Essen**, Schubertstr. 15.
105. **Fischer, Walther**, Dr.-Ing., Kustos am Staatl. Museum f. Mineralog., Zwinger, **Dresden A.**, Wohnung: Dresden-A. 19, Laubestr. 43 I.
106. **Frankfurt a. M.**, Mineralog. Institut der Universität, Robert Mayerstr. 6.
107. **Frebold, Georg**, Dr. phil. et rer. nat., Professor, **Hannover**, Heinrich Heinstr. 15 I.
108. **Freiberg** i. Sa., Mineralog. Institut der Bergakademie, Brennhausgasse 14.
109. **Freiburg** i. Breisg., Mineralog. Institut d. Universität, Bertholdstraße 17.
110. **Freiburg** (Schweiz), Mineralog. Institut d. Universität.
111. **Friedrich, Othmar**, Ing., Assistent a. d. Techn. Hochschule, **Graz III**, Beethovenstr. 7 I.
112. **Fromme, J.**, Dr., Apotheker u. Nahrungsmittelchemiker, **Magdeburg**, Adelheidring 17.
113. **Fülöpp, Bela**, Dr., Senator, **Timisoara-Temesvár**, Bulv. Regina Maria 5. Rumänien.
114. **Fuess, R.**, Optische Werkstätte, **Berlin-Steglitz**, Düntherstr. 8.
115. **Gareiss, A.**, Dr., Professor am Realgymnasium, **Karlsbad** (C. S. R.). (G.)
116. **Geller, Adolf**, Dr., Privatdozent, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44, Geolog. Landesanstalt.
117. **Geophysical Laboratory**, Carnegie Institut., **Washington D. C.** 2801 Upton Street.
118. **Gerber, Eduard**, Dr., Naturhist. Museum, **Bern** (Schweiz).
119. **Gießen**, Hessen, Mineralog. Institut der Universität.
120. **Gille, Fritz**, Dr., **Düsseldorf**, Bilker-Allee 190.
121. **Gisolf, W. F.**, Dr., **Bandoeng**, Java, (Niederl. Indien), Engelbert van Bevervoordeweg 24.
122. **Gliszczynski, Siegfried v.**, stud., **Berlin N 58**, Rhinowerstraße 2 II.
123. **Götte, August**, Dr., Dipl.-Bergingenieur, **Clausthal** (Harz), Min. Inst. d. Bergakademie.
124. **Göttingen**, Mineralog. Institut der Universität.
125. **Göttingen**, Universitätsbibliothek.
126. **Goetze, Margarete v.**, Studienrätin, **Altona**, Bahrenfelder Kirchenweg 65.
127. **Goldschmidt, V. M.**, Dr., Professor, **Göttingen**, Wagnerstr. 8.

128. **Goßner, B.**, Dr., Prof., **München**, Mineralog. Institut d. Univ. Neuhauserstr. 51.
129. **Gottfried, Karl**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Mineralog. Institut der Universität Hauptstr. 47/51.
130. **Graz**, Geolog. Institut der Techn. Hochschule.
131. **Graz**, Mineralog.-petrogr. Institut d. Universität (Prof. Dr. Frz. Angel), Universitätsplatz 2 II.
132. **Greifswald**, Mineralog. Institut der Universität.
133. **Greiser, Georg**, Bergwerksbesitzer, **Hannover**, Fischerstr. 1.
134. **Grengg, R.**, Dr., Professor, Technische Hochschule, Institut f. Mineralogie u. Baustoffkunde II, **Wien VI**, Dreihufeisengasse 4.
135. **Grimm, H. G.**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Beethovenstr. 5.
136. **Groß, Rudolf**, Dr., Professor, Mineralog. Institut der Universität, Greifswald.
137. **Grosser, Gottfried**, Assistent, **Dresden A 24**, Bismarckplatz 18, Mineralog. Inst. Techn. Hochsch.
138. **Grundey, Max**, Oberlandmesser u. Leiter des Oberschles. Museums, **Gleitwitz**, Oberschlesien.
139. **Gruner, John W.**, Dr., Professor, University of Minnesota Dept. of Geology & Mineralogy, **Minneapolis** (Minn.), U. S. A.
140. **Grutterink, J. A.**, Dr., Professor, Laboratorium voor Delfstofkunde. Technische Hoogeschool te **Delft** (Holland), auch: van Bleiswijkstraat 139.
141. **Haas, J. O.**, Dr., Geologe, **Ouégoa**, Nouvelle Calédonie, France.
142. **Habenicht**, Dr., Rechtsanwalt, **Plauen i. Vgth.**, Neustadtplatz.
143. **Hadding, A.**, Dr., Dozent, **Lund** (Schweden), Mineralog.-geol. Institut.
144. **Hahn, Alexander**, **Idar a. d. Nahe**, Brunnengasse 1. (G.)
145. **Haittinger, Ludwig**, em. Direktor der österr. Gasglühlicht- und Elektrizitäts-Gesellschaft, **Weidling**, Nieder-Österreich, Villa Brunnepark, Brandmayergasse 2. (G.)
146. **Halle a. S.**, Mineralog. Institut der Universität., Domstr. 5.
147. **Haller, Hans**, Dr. phil., Chemiker a. d. Preuß. geol. Landesanstalt, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44.
148. **Hamborg, Axel**, Dr., Professor, **Djursholm** bei Stockholm (Schweden).
149. **Hamburg**, Mineralog.-petrograph. Institut der Universität, **Hamburg 36**, Esplanade 1c.
150. **Hamburg**, Staats- und Universitätsbibliothek, **Hamburg 1**, Speersort.
151. **Hannover**, Geolog. u. mineralog. Institut der Technischen Hochschule.
152. **Harada, Zyunpei**, Prof. Dr., Dept. of Mineralogy and Geology, Hokkaido Imp. University, **Sapporo**, Japan.

153. **Harrassowitz, H.**, Dr., Prof., **Gießen**, Schiffenberger Weg. 13.
154. **Härtel, F.**, Dr., Geologe, **Leipzig**, Talstr. 35, Geolog. Landesanstalt.
155. **Hartwig, Wilhelm**, Dr., Assistent am Mineralog.-petrogr. Inst. der Univ., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
156. **Hegemann, Fr.**, Dr., Privatdozent, **München**, Arcisstr. 21, Mineralog.-Geolog. Institut der Technischen Hochschule.
157. **Heide, Fritz**, Dr., Professor, **Jena**, Mineralog. Institut der Universität.
158. **Heidelberg**, Mineralog. Institut d. Universität, Hauptstr. 47/51.
159. **Heim, Fritz**, Dr., Regierungsgeologe, **Großhesselohe** bei München, Bahnhofstraße 2.
160. **Hellmers, Hans**, Dr., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44, Geol. Landesanstalt.
161. **Henglein, M.**, Dr., Professor, **Karlsruhe i. B.**, Kaiserallee 18.
162. **Hentsch, Johannes**, Studienrat, **Leipzig S 3**, Fockestr. 35 I r.
163. **Hentschel, Hans**, Dr., **Leipzig C 1**, Institut für Mineralogie u. Petrographie d. Universität, Talstr. 38.
164. **Herlinger, Erich**, Dr., **Berlin NW 87**, Klopstockstr. 51.
165. **Herre, Rudolf**, Dr. phil., Hilfsassistent, **Meißen**, Schloßberg 5.
166. **Herzenberg, R.**, Dr., **Oruro** (Bolivia), c/o. M. Hochschild & Cia. Casilla 23.
167. **Hesemann, Julius**, Dr.-Ing., Bergingenieur, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44.
168. **Heydrich, Karl**, Dr., Studienrat, **Hildburghausen**, Friedrichstraße 8. (G.)
169. **Heykes, C.**, Dr., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44, Geol. Landesanstalt.
170. **Hibsch, J. E.**, Dr. rer. techn. h. c. Professor, **Wien XVIII/1**, Erndtgasse 26.
171. **Hiller, Joh. E.**, stud. rer. mont., **Berlin N 58**, Schönhauser Allee 130. 2. Aufg.
172. **Himmel, Hans**, Dr., Privatdozent, Assistent am mineralog. Institut von V. Goldschmidt, **Heidelberg**, Hauptstr. 48.
173. **Himmelbauer, A.**, Dr., Professor, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3. (G.)
174. **Himmelbauer, Friedrich**, Geologe, **München**, unbekannt verzogen.
175. **Hirsch, Willy**, Dipl.-Bergingenieur, **München**, Fürstenstr. 22 I.
176. **Hirschi, H.**, Dr. phil., **Spiez** (Schweiz).
177. **Hlawatsch, Karl**, Dr., **Wien XIII 5**, Linzer Straße 456. (G.)
178. **Hoffmann, M. K.**, Dr. phil., Fabrikdirektor a. D., **Freiberg i. Sa.**, Winklerstr. 2.
179. **Hofmann, Wilhelm**, Dr., **Leipzig**, Min. Inst. d. Univ., Talstr. 38 II.

180. **Hohenheim** (Württemberg), Landwirtschaftliche Hochschule, Bibliothek.
181. **Holetz, Friedrich**, Dr., Professor, Deutsche Handelsakademie, **Aussig** a. d. Elbe (Ö. S. R.).
182. **Holler, Kurt**, Dr., Assistent am geol.-mineralog. Institut der Techn. Hochschule, **Darmstadt**, Magdalenenstraße 8.
183. **Holzner, Julius**, Dr., Assistent am Mineralog.-petr. Institut der Universität, **Gießen**.
184. **Hoppe, W.**, Dr. phil., **Jena**, Prinzessinnengarten 4 (Geol. Landesuntersuchung).
185. **Hsieh, C. Y.**, Professor. Geologe der chinesischen Landesanstalt, **Peking**. Adresse unbekannt.
186. **Hugi, E.**, Dr., Professor, **Bern**, Schänzlistr. 47.
187. **Hummel, Karl**, Dr., Professor, **Gießen**, Georg Philipp Gailstraße 8.
188. **Huth, Willi**, Dr. phil., **Berlin-Lankwitz**, Mühlenstr. 17 II.
189. **Huttenlocher, Heinrich**, Dr., Privatdozent, **Bern**, Tannacherstraße 26.
190. **I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft**, Zentralbibliothek, **Bitterfeld**.
191. **Innsbruck**, Geologisches Institut der Universität.
192. **Innsbruck**, Mineralog.-petrographisches Institut, Alte Universität.
193. **Ito, Teiichi**, Professor, Mineralogical Institution, Imperial University, **Tokyo** (Japan).
194. **Iwanoff, L.**, Prof., Berginstitut, **Dnjepropetrowsk** (U. d. S. S. R.), Mineralogisches Kabinett.
195. **Jacoby, Kurt**, **Leipzig C 1**, Markgrafenstr. 6. i. Fa. Akademische Verlagsgesellschaft.
196. **Jacoby, Richard**, Dr., Direktor, **Berlin NW 87**, Sickingenstr. 71, i. Fa. Osram G. m. b. H.
197. **Jahn, A.**, Apotheker, Mineralienhandlung, **Plauen i. V.** Oberer Graben 9 I.
198. **Jakob, Johann**, Dr., Professor, Mineral.-petrograph. Institut d. eidgenössischen Techn. Hochschule, **Zürich**.
199. **Jena**, Gesellschaft für Mineralogie und Geologie.
200. **Jena**, Mineralogisches Institut der Universität, Schillerstr. 12.
201. **Johannsen, Albert**, Dr., Professor, Rosenwald Hall, University of Chicago, **Chicago** (Ill.), U. S. A.
202. ***Johnsen, A.**, Dr., Professor, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43, Mineralog.-petrogr. Institut. (G.)
203. **Jones, William R.**, Dr., **London SW 7**, South Kensington, Geol. Department, Royal School of Mines., Dep. Imp. College of Science.

204. **Jugovics, Ludwig**, Dr., Hochschulprofessor, **Monor** bei Budapest, Ungarn.
205. **Jung, Hermann**, Dr. a. o. Professor, **Jena**, Mineral. Institut d. Universität, Schillerstr. 12.
206. **Kahrs, E.**, Dr., Direktor des Museums der Stadt Essen für Natur- u. Völkerkunde, **Essen**, Am Westbahnhof 2. (G.)
207. **Kaiser, E.**, Dr., Professor, Geh. Regierungsrat, Institut f. allgem. u. angewandte Geologie, **München**, Neuhauserstr. 51. (G.)
208. **Kalb, Georg Willi**, Dr., Professor, Mineralog.-geologisches Inst., **Köln**, Severinswall 38.
209. **Kali-Forschungsanstalt**, G. m. b. H., **Berlin SW 11**, Schönebergerstraße 5.
210. **Karabacek, Hans v.**, Ritter, Dr., Direktor, **Wien V**, Hauslabgasse 7. (G.)
211. **Kärgel, Walter**, Dr., Chemiker, **Berlin SO 36**, Bethanien Ufer 2.
212. **Karlsruhe i. B.**, Geolog.-mineralog. Institut d. Technischen Hochschule.
213. **Kasan** (Rußland), Mineralog. Institut der Staatsuniversität (Prof. Krotov).
214. **Kassel**, Reichsbahndirektion, Kölnische Str. 81.
215. **Kästner, Fritz**, Dr., **Leipzig N 24**, Stöckelstr. 58.
216. **Kempff, H.**, Dr. med., **Leipzig W 33**, Demmeringstr. 45.
217. **Kessler, C. W., Söhne, Idar** (Rhld.), Hauptstraße 140.
218. **Kiel**, Mineralog. Institut der Universität, Schwanenweg 20 a.
219. **Killig, Franz**, Dr., **Degerhamn** (Öland, Schweden).
220. **Klemm, G.**, Dr., Professor, Oberbergrat, **Darmstadt** (Hessen), Wittmannstraße 15.
221. **Klemm, Richard**, Dr.-Ing., Dipl.-Ing., **Ludwigshafen a. Rh.**, Gartenstadt Mundenheim, Eschenweg 13.
222. **Klingner, Fritz Erdmann**, Dr., **Salzderhelden** (Prov. Hannover).
223. **Klockmann, F.**, Dr., Professor, Geh. Reg.-Rat, **Aachen**, Lousbergstr. 3. (G.)
224. **Koch, Leo**, Dr. phil., **Köln**, Geolog. Institut der Universität, Severinswall 38.
225. **Koechlin, Rud.**, Dr., Hofrat, **Wien V/1**, Siebenbrunneng. 29. (G.)
226. **Köhler, Alexander**, Dr., Dozent am Min.-petrogr. Institut d. Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
227. **Köhler, Eberhard**, Dr., **Jena**, Johannesplatz 7.
228. **Kolbe, Ernst**, Dr. phil., Assistent am Mineralog. Institut der Universität, **Marburg** (Hessen), Deutschhausstraße.
229. **Kolbeck, F.**, Dr. Dr. d. techn. Wiss. E. h., Professor, Geh. Berg-
rat, **Freiberg** in Sachsen, Marienstr. 1. (G.)

230. **Kölbl, Leopold**, Dr., Professor, **Wien XVIII**, Hochschule für Bodenkultur.
231. **Köln**, Geologisches Institut der Universität, Severinswall 38.
232. **Königsberg i. Pr.**, Geolog.-Paläontolog. Institut der Universität, Lange Reihe 4.
233. **Königsberg i. Pr.**, Min. Institut der Universität, Steindamm 6.
234. **Körber, F.**, Dr. phil., Professor, Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung, **Düsseldorf**, Im Rottfeld 10.
235. **Kordes, Ernst**, Dr., Privatdozent, **Leipzig C 1**, Talstr. 38, Mineral. Institut d. Univers.
236. **Koref, Fritz**, Dr. phil., Osramgesellschaft G. m. b. H., **Berlin O 17**, Ehrenbergstr. 11—14.
237. **Korn, Doris**, Dr., **Aachen**, Mineralog. Institut der Technischen Hochschule.
238. **Korring, Ernst**, Dr., Studienrat, **Berlin-Karow**, Busonistr. 25.
239. **Kratzert, J.**, Dr., **Stettin**, Angermünderstr. 9.
240. **Kreutz, Stephan**, Dr., Professor der Universität **Krakau** (Polen), Wolska 17. (G.)
241. ***Krishnan, M. S. Ph.**, Dr., Assistant Superintendent, Geol. Survey of India, **Calcutta**, 27. Chowringhee.
242. **Krüger, Fr.**, Dr., Prof., **Greifswald**, Physikalisches Institut der Universität.
243. **Ktenas, Konstantin A.**, Professor, **Athen** (Griechenland), Akademiestr. 38.
244. **Küchler, H.**, Dr., Studienrat, **Sonneberg** (Thür.), Marienstr. 15.
245. **Kühlwein, Fritz Ludwig**, Dr.-Ing., Dipl.-Bergingenieur, Berg-assessor, **Hamburg 10**, Bahnstr. 5.
246. **Kühne, H.**, Dr., ordentl. Vorstandsmitglied d. I. G. Farben-industrie A. G., **Leverkusen b. Köln**.
247. **Kunitz, Wilhelm**, Dr., Privatdozent, **Halle a. S.**, Mineral. Institut d. Universität, Domstr. 5; privat: Rainstr. 3 b.
248. **Kupás, Jul.**, Städt. Notar, **Baia-Mare** (Nagybánya), Rumänien.
249. **Kurauchi, Ginjiro**, Bergingenieur, Professor an der Imperial University, **Kyoto**, Japan.
250. **Kusche, A.**, **München**, Leopoldstraße 126 I. (G.)
251. **Lameyer, Wilhelm**, Juwelier, **Hannover**, Georgstr. 26.
252. **Lang, Richard**, Dr., Professor, **München**, Kaulbachstr. 11 a.
253. **Laves, Fritz**, Dr., **Göttingen**, Miner. Inst. d. Univ.
254. **Lehmann, Emil**, Dr., Professor, **Gießen**, Mineral. Institut d. Universität.
255. **Lehmann, Hans**, Dr., Ing., **Dresden N 6**, Leipzigerstr. 8.
256. **Lehmann, Walter**, Dr., **Hamburg 33**, Steilshoperstr. 45/47.
257. **Leiden** (Holland), Rijks Geologisch-Mineralogisch Museum, Garenmarkt 1 c.

258. **Leipzig**, Geolog.-palaeont. Institut der Universität, Talstr. 35 II.
259. **Leipzig**, Institut für Mineralogie und Petrographie, Talstr. 38.
260. **Leiss, Carl**, Dr. h. c., Optische und feinmechanische Werkstätte, **Berlin-Steglitz**, Feuerbachstr. 26.
261. **Leitz, Ernst**, Optische Werke (Bücherei), **Wetzlar**.
262. **Leonhardt, Johannes**, Dr., Privatdozent, **Kiel**, Miner. Inst. d. Universität, Schwanenweg 20 a.
263. **Liesegang, Raphael E.**, Dr. h. c., **Frankfurt a. M.**, Schloßstr. 21.
264. **Lietz, Joachim**, Dr., **Reinbek**, Holstein, Waldstr. 9.
265. **Limbrock, P. H.**, Missionar, **Larantuka** (Eiland Flores, Niederl. Ostindien), durch Missionsprokurator Steyl, Post Kaldenkirchen (Rhld.), Postfach 26.
266. **Lindley, H. W.**, Dr. phil., **Berlin-Charlottenburg**, Min. Inst. d. Techn. Hochschule, Berlinerstr. 170.
267. **Loebe, R.**, Dr., Professor, **Waidmannslust** bei Berlin, Waidmannstr. 31.
268. **Löffler, Richard**, Dr., Bergrat, **Schwäbisch Gemünd**, Obere Zeiselbergstr. 11.
269. **Lotze, Reinhold**, Dr. phil., Ober-Regierungsrat, **Stuttgart**, Seestraße 78.
270. **Ludwig, Paul F.**, Weiszwasser O. L, i. Fa. Glasfabrik Weiszwasser.
271. **Machatschki, Felix**, Dr. phil., Prof., **Tübingen**, Mineral. Inst. der Universität.
272. **Mahl, Karl**, Dr., **Karlsruhe**, Sofienstr. 152.
273. „**Maja**“, Berg- und Hüttenmänn. Verein, **Clausthal** (Harz) Sorge 800.
274. **Marburg**, Hessen, Mineralog. Institut der Universität.
275. **Marburg**, Hessen, Universitätsbibliothek.
276. **Marchet, Arthur**, Dr., Professor, Mineral.-petrogr. Institut, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
277. **Matuschka, Franz**, Graf v., Dr., **Berlin-Schöneberg**, Innsbrucker Str. 44.
278. **Matveyeff, Constantin**, Dr., Prof., Institut Minéralogique de l'Ecole Supérieure Uralienne des Mines, **Sverdlovsk** (Sibirien) U. d. S. S. R. Ssibirsky Prospect 30.
279. **Maucher, Albert**, Dr. Ing., **München 13**, Schellingstr. 73/o.
280. **Mauritz, Béla**, Dr., Professor, **Budapest VIII**, Muzeum-Körut 4.
281. **Mc Caughey, Wm. J.**, Dr., Professor, Ohio State University, Dept. of Mineralogy, **Columbus** (Ohio), U. S. A.
282. **Mayer, F. K.**, **Jena**, Schillerstr. 12. Unbekannt verzogen.
283. **Meents, R. O.**, Bergingenieur, **Terrell** (Texas), U. S. A.
284. **Mehmel, Martin**, cand. chem., **Leipzig C 1**, Mineral. Institut, Talstr. 38 (privat: Leipzig O 30, Mariannenstr. 64 IIr).

285. **Menzer, Georg**, Dr., Privatdozent a. d. Univ. Berlin, Assistent am Min.-petr. Institut, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
286. **Michel, Herrmann**, Dr., **Wien I**, Burgring 7, Naturhist. Staatsmuseum.
287. **Möckel, Konrad**, Dr., Mittelschulprofessor, **Großpold** (Apol-dulde sus), Rumänien (Siebenbürgen).
288. **Moritz, Heinrich**, Dipl.-Berging. Mineral. Inst. d. Univ., **Freiburg** i. Br., Bertholdstr. 17.
289. **Müller, Heinrich**, Dr., Assistent am Min.-geol. Staatsinstitut, **Hamburg 5**, Lübeckerthor 22.
290. **Müller, Karl**, Dr., **Neckarsteinach**, Hirschhornerstraße.
291. **Müller, Wilhelm**, Studienrat, **Dessau**, Moßstr. 22.
292. **Müllers, Peter**, Dr. **Jena**, Jansonstraße 30.
293. **München**, Bayer. Staatsbibliothek.
294. **München**, Mineralog. Staatssammlung, Neuhauserstr. 51.
295. **Nacken, R.**, Dr., Professor, **Frankfurt a. M. 17**, Victoria-Allee 5. (G.)
296. **Nagelschmidt, G.**, Dr., Assistent, **Rostock**, Mineralogisch-geolog. Institut, Wismarschestr. 8.
297. ***Naumann, M.**, Dr., Fabrikbesitzer, i. Fa. Serpentinsteinwarenfabrik R. Naumann, **Waldheim** i. Sa.
298. **Neuhaus, A.**, Dr., Privatdozent, Assistent, **Breslau I**, Mineralog.-petrogr. Institut u. Museum d. Universität u. d. Techn. Hochschule, Schuhbrücke 38/39.
299. **Nieland, Hans**, Dr., Privatdozent, **Heidelberg**, Mineral. Inst. d. Univ. Hauptstr. 47/51, privat: Zeppelinstraße 26.
300. **Niggli, P.**, Dr., Professor, **Zürich 6**, Mineralog. Institut d. eidgen. Techn. Hochschule, Sonneggstr. 5.
301. **Nikoloff, Naum**, Professor für Mineralogie und Petrographie, **Sofia**, Bulgarien, Mineral.-petr. Institut der Universität.
302. **Noll, Walter**, Dr., Assistent am Mineralog.-geolog. Institut d. Techn. Hochschule, **Hannover 1 W**, Welfengarten 1.
303. ***Nottmeyer, Otto**, Dr.-Ing., Dipl.-Bergingenieur, **Bad Oeynhausen**, Wiesenstr. 23.
304. **Nürnberg**, Geolog. Sektion der Naturhistorischen Gesellschaft, Luitpoldhaus, Gewerbemuseumsplatz 4.
305. **Nugel, Karl**, Dr.-Ing., Assessor, Geschäftsführendes Vorstandsmitglied der Gesellsch. Deutscher Metallhütten- und Bergleute, **Berlin W 35**, Lützowstr. 89/90.
306. **Obenauer, K.**, Dr., **Bonn** a. Rhein, Assistent am Mineralogischen Institut der Universität. Wohnung: Kurfürstenstr. 65.
307. **Obermüller, Walther**, i. Fa. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, **Stuttgart**, Johannesstr. 3^a.

308. **O' Daniel, Herbert**, Dr., **München**, Arcisstraße, Mineralog.-geol. Institut der Technischen Hochschule.
309. **Olsacher, Juan**, Dr., Assistent a. Mineral.-geol. Institut der Universität, **Cordoba** (Rep. Argentina).
310. **Pabisch, Heinrich**, Professor, **Wien VI**, Grasgasse 5. (G.)
311. **Pardillo, Francisco**, Prof., Universität **Barcelona** (Spanien).
312. **Parker, Robert**, Dr., Mineral. Instit. d. eidgen. Techn. Hochschule, **Zürich 6**, Sonneggstr. 5, privat Rotbuchstr. 8.
313. **Pastore, Franco**, Dr., Facultad de Ciencias Exactas, **Buenos Aires** (Argentinien), Calle Peru 222.
314. **Pauli, O.**, Dr., Studienrat, **Frankfurt a. M.**, Beethovenstr. 38 I.
315. ***Petrascheck, W.**, Dr., Professor, montan. Hochschule **Leoben**.
316. **Petrow, Kurt**, Dr., Studienrat, **Spandau**, Straßburgerstr. 43.
317. **Philipsborn, Hellmut v.**, Dr., Professor, **Freiberg i. Sa.**, Miner. Institut d. Bergakademie, Brennhausgasse 14, Wohnung: Weisbachstr. 8.
318. **Phillips, J. Coles**, Dr., Corpus Christi College, **Cambridge** (England).
319. **Pietzsch, Kurt**, Dr., Professor, Landesgeologe, **Leipzig**, Talstr. 35.
320. **Plank, Anton**, Dr., **Bad Nauheim**, Ludwigstr. 15.
321. **Popoff, Boris**, Dr., Professor, **Riga**, Popoffstr. 8.
322. **Porsche, J.**, Dr., Professor am Staatsrealgymnasium, **Aussig** (C. S. R.), Große Wallstraße. (G.)
323. **Postelmann, Alfred**, Oberstudiendirektor, **Königsberg i. Pr.**, Hufenallee 38/42.
324. **Prager, C.**, Berginspektor und Prokurist der Kaliwerke Niedersachsen, **Celle**, Rhegiusstr. 15.
325. **Preiswerk, H.**, Dr., Professor, **Basel**, Markircherstr. 7.
326. **Preuß, Ekkehard**, cand. mineral., **Jena**, Unterer Philosophenweg 28.
327. **Pulfrich, Max**, Dr., **Berlin-Steglitz**, Kleiststr. 21.
328. **Quensel, Percy D.**, Dr., Professor, **Stockholm**, Mineralogiska Institutionen, Stockholms Högskola, Drottninggatan 118.
329. **Raabe, Wilhelm**, Dr.-Ing., p. o. **Morogoro** Mission Mgeta Tanganyika Territory, Ostafrika.
330. **Raaz, Franz**, Dr., Privatdozent, Mineralog.-petrogr. Inst. d. Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
331. **Ramdohr, Paul**, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Techn. Hochschule **Aachen** (Rhld.), Wüllnerstr. 2. Wohnung: Emmichstraße 160.
332. **Rasch, Walther**, Dr., **Königsberg i. Pr.**, Mitteltragheim 8 II.
333. **Ray, Suhrid, Kumar**, Ph. D., Professor, Indian School of Mines, **Dhanhab** (Government of India).
334. **Redlich, K. A.**, Dr., Professor, **Prag I**, Huzova 5.

335. **Reeh, Erich**, Dipl.-Bergingenieur, **Celle**. Unbekannt verzogen.
336. **Rehwalde, Gerhard**, Dipl.-Ing., **Baesweiler** (Bez. Aachen).
337. **Reichert, Rob.**, Dr., Assistent, **Budapest VIII** (Ungarn), Muzeum-Körnt 4, Mineralog. Institut d. Universität.
338. **Rein, Eduard**, **Chemnitz**, Annaberger Str. 10. (G.)
339. **Reinhard, M.**, Dr., Professor, **Basel**, Mineralog. Institut der Universität, Münsterplatz 6/7.
340. **Reuning, Ernst**, Dr., Privatdozent, **Gießen**, Wilhelmstr. 26.
341. **Reusch, Hermann**, Dr., Bergassessor, **Hövel**, Post **Radbod**, Hosenhövelerstr. 45.
342. **Reuter, Aug.**, Dr., **Bad Homburg v. d. H.** (G.)
343. **Ries, A.**, Dr., Hochschulprofessor, **Freising i. Bay.**, Lyzeum.
344. **Rimann, E.**, Dr., Professor, **Dresden-A. 24**, Mineralog.-geolog. Institut d. techn. Hochschule, Bismarckplatz. (G.)
345. **Rintisch, W.**, Dr., Dipl.-Ing., **Oruro** (Bolivia), Casilla 363 Cerminera S. A.
346. **Ritter, Fritz**, Zahnarzt, **Hildesheim**, Goslarsche Str. 6.
347. **Rösch, Siegfried**, Dr. phil., Privatdozent, **Wetzlar** (Lahn), Opt. Werke E. Leitz = Dienstadresse. Privat: Gr. Promenade 1.
348. **Rose, H.**, Dr., Professor, Mineralogisches Institut, **Hamburg 36**, Esplanade 1c, Privat: **Hamburg 37**, Brahmallee 59.
349. **Rostock**, Mineral.-Geolog. Institut d. Universität, Wismarsche-strasse 8.
350. **Rüger, Ludwig**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Werderstr. 3.
351. **Rupp, H.**, Dr., Frau, **Berlin-Frohnau**, Hohenheimerstr. 3—4.
352. **Salman, Hermann**, Dr., Privatdozent, **Aachen**, Mauerst. 5.
353. **Salomon-Calvi, W.**, Dr., Professor, Geh. Hofrat, **Heidelberg**, Geolog. Institut d. Univ., Hauptstraße. (G.)
354. **Sauce, Wilhelm de la**, Dr.-Ing., Bergassessor, Geschäftsführer des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins, **Halle a. S.**, Riebeckplatz 4.
355. **Schaller, Waldemar T.**, Dr., **Washington D. C.**, U. S. A., Dept. of the Interior. Geological Survey.
356. **Scharffenberg, Georg**, Juwelier, **Dresden-A.**, Seestr. 16.
357. **Scheffer, L.**, Bergassessor, **Paris 9^e**, verzogen unbek.
358. **Scheibener, Edmund**, Dr., Leiter der Mineralog.-petrogr. Abteilung des Institutes für Bodenkunde an der Staatl. Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt (Algemeen Proefstation voor den Landbouw). **Buitenzorg (Java)**.
359. **Scheibler, Adolf**, i. Fa. Scheibler u. Co., **Crefeld**, Roonstr. 81.
360. **Scheumann, K. H.**, Dr., Professor, **Leipzig**, Talstr. 38, Min. Institut d. Universität.
361. **Schiebold, E.**, Dr., Professor, **Leipzig**, Talstr. 38, Mineralog. Institut.

362. **Schiener, Alfred**, Demonstrator am Mineralog.-petrographischen Institut d. Universität **Wien**.
363. **Schildbach, Julie, Marienbad** (Č. S. R.), Goethehaus. (G.)
364. **Schloßmacher, K.**, Dr., Professor, **Königsberg** i. Pr., Mineral. Institut der Universität, Steindamm 6.
365. **Schmid, Erich**, Dr., Professor, **Freiburg** (Schweiz), Physikalisches Inst. d. Universität.
366. **Schmidt, Kurt**, Dr., Studienrat, **Schleiz**, Hoferstraße.
367. **Schmidt, Walter**, Dr. phil., Professor, **Berlin-Charlottenburg**, Mineralog.-petrogr. Inst. d. Techn. Hochschule Berlinerstr. 170.
368. **Schmidt, Wilh.**, Dr. phil., Markscheider und Landmesser, **Kamen** (Westf.), Zeche Monopol. Wohnung: Gartenstadt Ost. Nr. 3.
369. **Schnarrenberger, C.**, Dr., Oberbergrat, **Freiburg** i. Br., Eisenbahnstr. 62 a.
370. **Schneiderhöhn, Hans**, Dr., Professor, **Freiburg** i. Br., Mineralogisches Institut der Universität, Burgunderstr. 30.
371. **Schöppe, W.**, Dr.-Ing., Bergdirektor, **Wien VI**, Gumpendorferstraße 8.
372. **Schott und Genossen**, Glaswerk, **Jena**.
373. **Schreiter, Rudolf**, Dr., Professor, **Freiberg** i. Sa., Erbischesstraße 17.
374. **Schröder, Alfred**, Dr., **Hamburg**, Ackermannstr. 2 II.
375. **Schumacher, Friedr.**, Dr.-Ing., Professor, **Freiberg** i. Sa., Geolog. Inst. d. Bergakademie. Wohnung: Jägerstr. 13.
376. **Schwantke, Arthur**, Dr., Professor, **Marburg** Hessen, Mineral. Institut der Universität. (G.)
377. ***Schwarzmann, Max**, Dr., Professor, **Karlsruhe** in Baden, Gartenstr. 32. (G.)
378. **Schwinner, R.**, Dr. phil., Professor für Geologie, **Graz**, Schillerstraße 5.
379. **Seebach, Max P. W.**, Dr., **Leipzig-Co.**, Elisenstr. 154. (G.)
380. **Seemann, R.**, Dr. phil., Konservator an der staatl. Naturaliensammlung, **Stuttgart**.
381. **Seidl, Erich**, Dr.-Ing., Geheimrat, **Berlin-Westend**, Tapiau-Allee 6.
382. **Seifert, Hans**, Dr., Privatdozent u. Kustos am Mineralog.-petrogr. Inst. u. Museum der Universität, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
383. **Seifert, Richard**, Ingenieur und Fabrikbesitzer, **Hamburg 13**, Behnstraße 7—11.
384. **Silberstein, Georg**, **Berlin NW 40**, Calvinstr. 3.
385. **Simon, Wilhelm Georg**, Dr., **Hamburg 24**, Wartenau 7.
386. **Sociedad Científica Argentina**, **Buenos Aires**, Cevallos 269.

387. **Sommer, M.**, Dr., Studienrat, **Marienber*g*** i. Sa., Ratsstr. 9.
388. **Spangenberg, K.**, Dr., Prof., **Breslau**, Schuhbrücke 38/39.
389. **Stanciu, Victor**, Dr., Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität **Cluj** (Klausenburg), Rumänien, Str. Regele Ferdinand 44.
390. **Stark, Michael**, Dr., Professor, **Praha** (Č. S. R.), Viničná 3. (G.)
391. **Steinhoff, Eduard**, Dr. phil., Leiter des Labor. d. Fa. Aug. Klönne, Priv.-Doz. a. d. Technischen Hochschule Braunschweig, **Braunschweig**, Am Wendenwehr 5.
392. **Steinmetz, H.**, Dr., Professor, **München 2 NW**, Techn. Hochschule, Arcisstr. 21.
393. **Stille, H.**, Dr., Professor, **Berlin**, Geolog. Institut. Privat: **Berlin-Charlottenburg**, Tannenberg-Allee 18.
394. **Stöber, F.**, Dr., Professor, **Berlin-Schlachtensee**, Adalbertstr. 31.
395. **Stockholm**, Schweden, Mineralog. Institut d. Universität Drottninggatan 116.
396. **Stoicovici, Eugen**, Diplomchemiker, **Cluj** (Klausenburg) Rumänien) Mineral. Inst. d. Universität.
397. **Stoklossa, H. Georg**, Dr. phil., Studienassessor, Assistent am Mineralogischen Institut, **Breslau 10**, Lehmdamm 22 (Gths.).
398. **Stolley, E.**, Professor, Dr., **Braunschweig**, Mineralog. u. geol. Institut, Techn. Hochschule.
399. **Storz, Max**, Dr., Privatdozent für Geologie, **München**, Neuhäuserstr. 51.
400. **Streckeisen, Albert**, Dr., Professor, Laboratul de Mineralogie, Scoala Politehnică, **Bucuresti** (Rumänien), Calea Grivitzei 132.
401. **Stremme, H.**, Dr., Professor, **Danzig-Langfuhr**, Geolog. Institut der techn. Hochschule.
402. **Stützel, Helmut**, Dr., **Godesberg** (Rh.), Heerstr. 54.
403. **Stutzer, O.**, Dr., Professor, **Freiberg** i. S., Bergakademie.
404. **Sudhaus, Käthe**, Dr., Studienrat, **Frankfurt a. O.**, Wildenbruchstr. 14II.
405. **Süß, Johannes**, Dr., Studienrat, **Dresden-A. 21**, Schaufußstraße 30cII.
406. **Sustschinsky, Peter**, Dr., Professor, **Novotscherkassk** (Rußland), Mineralog. Institut, Polytechnikum, Techn. Hochschule.
407. **Szentpétery, Sigmund v.**, Dr., Professor, Universität **Szeged** (Ungarn), Tisza Lajos Körut 6.
408. **Tammann, G.**, Dr., Professor, Geh. Reg.-Rat, **Göttingen**, Schillerstr. 26.
409. **Taubert, E.**, Dr., Studienrat, **Dessau**, Goethestr. 17. (G.)
410. **Terpstra, P.**, Dr., **Groningen** (Holland), Emmasingel 7.
411. **Tertsch, Herm.**, Dr., Landesschulinspektor, **Wien XIV**, Reindorf-gasse 37. (G.)

412. **Thost, R.*, Dr., **Berlin W 35**, Schöneberger Ufer 12 a. (G.)
413. *Tilley, Cecil E.*, Professor, Sedgwick Museum, **Cambridge**, England.
414. *Tokody, László*, Dr., Privatdozent, **Budapest I**, Muegyetem.
415. *Tröger, E.*, Dr., Dipl.-Bergingenieur, Privatdozent, Mineralog. Institut der techn. Hochschule, **Dresden-A. 24**, Bismarckplatz.
416. *Trondhjem* (Norwegen), Geolog. Institut, Techn. Hochschule.
417. *Trübsbach, Carl Julius*, Dr., **Chemnitz-Furth** (Sa.), Haus Trübsbach 82.
418. *Tübingen*, Mineralogisches Institut der Universität.
419. *Tübingen*, Universitätsbibliothek.
420. *Ulrich, Fr.*, Dr., Dozent am Min.-petrogr. Institut der Karls-Universität, **Prag II** (Č. S. R.), Albertor 6 I.
421. *Umrath, Wilhelm*, **Graz III**, Hochsteing. 59. (G.)
422. *Utrecht*, Mineral-geol. Institut d. Universität, Ganzenmarkt 32.
423. *Valeton, J. J. P.*, Dr., Professor, **Würzburg**, Am Exerzierplatz 2.
424. *Vendl, Aladár*, Dr., Professor f. Mineralogie u. Geologie a. d. Techn. Hochschule, **Budapest I**, Rezeda utca 7.
425. *Vendl, Miklos*, Dr., Professor, **Sopron**, Kgl. Ungar. montanist. Hochschule, Mineral-geol. Institut.
426. *Vernadsky, W.*, Professor, Akademie der Wissenschaften, Mineralog. Museum, **Leningrad**, Wassili Ostrow 7, Linie 2.
427. *Vielmetter, Richard*, Dr., **Hachenburg** (Westerwald), Postfach 30.
428. *Wageningen* (Holland), Geolog. Inst. d. Landbouw Hoogeschool.
429. *Wahl, Walter*, Dr., Professor der Chemie, **Helsingfors** (Finnland), Mariegatan 7.
430. *Waitz, Paul*, Dr., Tacuba D. F., Calle Parthenon, **Mexico** (Mexico).
431. *Weber, Leonhard*, Dr., Professor, Mineralog. Institut der Universität, **Freiburg** (Schweiz), Schönberg 40.
432. *Weg, Max*, Verlagsbuchhändler, **Leipzig C 1**, Königstr. 3. (G.)
433. *Weigand, W.*, **Berlin-Wilmersdorf**, Landauerstr. 1.
434. *Weigel, O.*, Dr., Professor, **Marburg** (Hessen), Mineralog. Institut.
435. *Weikert, Karl*, **Berlin-Friedenau**, Stubenrauchstr. 52.
436. *Weise, Curt*, Dr., **Herrenwyk i. Lübeckschen**.
437. *Wellhöfer, Bernhard*, Dr., Comision geologica Jag. petr. fisc., **Chubut** (Argentinien).
438. *Wendekamm, Karl*, Dr., **Leipzig C 1**, Posadowskylanlage 3 I, bei Grunert.
439. *Werner, Heinrich*, Bergrat, **Celle** (Hann.), Trift 26 I.
440. *Wernicke, Friedrich*, Dipl.-Ing., **Leipzig C 1**, Talstraße 35, Geolog. Landesamt.
441. *Wetzel, W.*, Dr., Professor, **Kiel**, Düppelstraße 71.
442. *Weyer, Imm.*, Dr., Assistent, Mineralog. Institut d. Universität, **Kiel**, Schwanenweg 20 a.

443. **Wien**, Mineralog.-petrogr. Abteilung des naturhist. Museums,
Wien I, Burgring 7.
444. **Wien**, Mineralog.-petrograph. Institut der Universität, **Wien I**,
Ring des 12. Novembers 3.
445. **Wild, Georg O.**, **Idar** (Nahe).
446. **Winkel, R.**, G. m. b. H., **Göttingen**, Königsallee 21.
447. **Witteborg, Werner**, Dr., **Wuppertal-Barmen**, Schwartner-
straße 11.
448. **Wolff, F. v.**, Dr., Professor, **Halle a. S.**, Mineralog. Institut, Dom-
straße 5. (G.)
449. **Wolff, John E.**, Professor, **Pasadena** (Californien, U. S. A.),
360 South Grand Ave.
450. **Würzburg**, Mineralog.-geolog. Institut der Universität.
451. **Zaleski, Stanislaus**, cand. chem., Burgrichter, **Skarzysko-
Kamienna**, Wojewodschaft Kielce, Polen.
452. **Zedlitz, Otto**, Dr., Assistent am mineralog. Institut, **Tübingen**,
Universität, Hölderlinstr. 29.
453. **Carl Zeiss**, Fa. Optische Werkstätte, **Jena**, Abteil. Bibliothek.
454. **Zocher, Hans**, Dr. phil., Prof., **Prag** (Bubeneč), Terronska 697.
455. **Zückert, Richard**, Dr.-Ing., Bergingenieur, **Budweis** (Č. S. R.),
Gerstenerstr. 319.
456. **Zürich**, Mineralog. Inst. der Techn. Hochschule Sonneggstr. 5.

(* bezeichnet lebenslängliche, (G.) im Gründungsjahr eingetretene
Mitglieder.)

Änderungen der **Anschrift** und Fehler in diesem Ver-
zeichnis wolle man dem Schriftführer, Herrn Professor Dr. **H. von
Philipsborn**, **Freiberg i. Sa.**, Mineral. Inst., Bergakademie, **sofort**
mitteilen.

Zahlungen bitten wir zu richten:

An den **Schatzmeister** der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft:
Herrn Dr. **R. Thost**, **Berlin W 35**, Schöneberger Ufer 12^a

oder

An die **Deutsche Mineralogische Gesellschaft**, **Berlin W 35**,
Postscheckkonto Berlin NW 7 Nr. 112678

oder

Bankkonto Nr. 10666 bei der Dresdner Bank, Depositen-
kasse 52, **Berlin W 9**, Potsdamer Str. 20.

An den **Schatzmeister** wolle man auch alle Anfragen über Preis und Bezug von **älteren Jahrgängen der „Fortschritte“** richten.

Der Vorstand ist zur Zeit wie folgt zusammengesetzt:

Vorsitzender: Prof. Dr. **W. Eitel**, Berlin.

I. Stellvertreter: Prof. Dr. **O. Weigel**, Marburg.

II. Stellvertreter: Prof. Dr. **H. Rose**, Hamburg.

Schatzmeister: Dr. **R. Thost**, Berlin.

Schriftführer: Prof. Dr. **H. v. Philipsborn**, Freiberg i. Sa.

Redakteur der „Fortschritte“: Prof. Dr. **W. Eitel**, Berlin-Dahlem.

Der wissenschaftliche Beirat besteht zur Zeit aus folgenden Herren:

1. Professor Dr. **P. Niggli**, Zürich.

2. Prof. Dr. **A. Johnsen**, Berlin.

3. Prof. Dr. **V. M. Goldschmidt**, Göttingen.

4. Prof. Dr. **K. H. Scheumann**, Leipzig.

5. Prof. Dr. **E. Schiebold**, Leipzig.

6. Prof. Dr. **H. Schneiderhöhn**, Freiburg/Br.
